

SERVICES RURAUX
TERRITORIAUX

SERVICE DE L'AGRICULTURE
SECTION RECHERCHE

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

LABORATOIRE DE
PEDOLOGIE

B. DENIS

ÉTUDE DE LA FERTILISATION
NITRO-PHOSPHO-POTASSIQUE DU MAÏS SUR
VERTISOL ET SUR SOL PEU ÉVOLUÉ D'APPORT
ET DE SES CONSÉQUENCES SUR L'ÉVOLUTION
DE LEURS CARACTÉRISTIQUES
PHYSIQUES ET CHIMIQUES

I

INFORMATIONS GÉNÉRALES

3

Réflexion sur la méthodologie à suivre pour mettre en évidence
l'action des facteurs contrôlés et la représenter graphiquement,
ainsi que pour tester les différences éventuellement observées
entre deux périodes successives.

SERVICES RURAUX
TERRITORIAUX

SERVICE DE L'AGRICULTURE
Section Recherche

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE
OUTRE-MER

Laboratoire de Pédologie
B. DENIS

ETUDE DE LA FERTILISATION
NITRO-PHOSPHO-POTASSIQUE DU MAIS SUR
VERTISOL & SUR SOL PEU EVOLUE D'APPORT
ET DE SES CONSEQUENCES SUR L'EVOLUTION
DE LEURS CARACTERISTIQUES PHYSIQUES & CHIMIQUES

I

INFORMATIONS GENERALES

3

Réflexion sur la méthodologie à suivre pour mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés et la représenter graphiquement ; ainsi que pour tester les différences éventuellement observées entre deux périodes successives.

NOVEMBRE 1983

S O M M A I R E

Avertissement

Documents de référence antérieurs.

Résumé

- 1/ Rappel de la méthode d'étude préconisée.
- 2/ Recherches du type de données à analyser statistiquement pour mettre en évidence l'action éventuelle des facteurs contrôlés. Comparaison des résultats obtenus avec ceux acquis en utilisant les valeurs absolues à un instant.
- 3/ Modes de représentation graphique. Leur utilité et les conclusions qui peuvent en être déduites.
- 4/ Tests pour mettre en évidence une différence significative entre deux périodes successives ou non, indépendamment de l'action des facteurs contrôlés.
- 5/ Conclusions.

ANNEXE - Autres graphiques comparatifs des valeurs absolues et des différences entre deux périodes. Les résultats d'analyse se rapportent au sol peu évolué d'apport sur alluvions récentes du site d'essai de Bourail.

*

A V E R T I S S E M E N T

Ce document est le troisième de la série "Informations générales" dans laquelle sont rapportées les modalités de calcul et de présentation des résultats ainsi que les dispositifs expérimentaux et les moyens analytiques mis en oeuvre pour la réalisation de deux études dans le cadre de la convention particulière passée le 21 Avril 1980 entre le Territoire de la Nouvelle-Calédonie et l'O.R.S.T.O.M.

Cette convention a pour but d'étudier la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Cette convention particulière s'inscrit elle-même dans le cadre plus large du protocole général passé entre le Territoire et l'O.R.S.T.O.M. pour l'étude de la fertilité naturelle et de l'évolution sous culture des sols de Nouvelle-Calédonie.

*

DOCUMENTS DE REFERENCE ANTERIEURS

TITRE GENERAL DES DOCUMENTS DES TROIS SERIES

Etude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

SERIE I - INFORMATIONS GENERALES

- 1 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE,
A. BOURGEOIS-DUCOURNAU - AOUT 1980 -
Cadre général de l'étude. Dispositifs expérimentaux. Modalités de
présentation des résultats.
- 2 - B. BONZON, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, B. DENIS - JUIN 1981 -
Relations générales entre les caractéristiques étudiées - Intérêt et
modalités de leur mise en évidence et de leur utilisation.

SERIE II - EXPERIMENTATION SUR SOL PEU EVOLUE D'APPORT

- 1 - P. MAZARD, E. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE,
A. BOURGEOIS-DUCOURNAU - AOUT 1980 -
Conditions d'installation du premier cycle. Peuplement, croissance en
hauteur et rendement. Niveau des principales caractéristiques physiques
et chimiques.
- 2 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE,
A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, J.P. SAMPLOUX - DECEMBRE 1981 -
Test d'homogénéité initial. Relations internes du système sol-maïs.
Premiers résultats.
- 3 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. BONZON, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, B. DENIS -
SEPTEMBRE 1980 -
Conditions d'installation du second cycle. Premières observations sur
le peuplement et la croissance en hauteur.

SERIE III - EXPERIMENTATION SUR VERTISOL

- 1 - B. DENIS - NOVEMBRE 1983 -
Niveau des principales caractéristiques physiques et chimiques du sol.
Leur évolution au cours du premier cycle cultural.

R E S U M E

Pour étudier l'action des facteurs contrôlés sur les paramètres d'un sol au cours d'un essai au champs, on applique le modèle linéaire d'analyse de variance. Il permet de calculer les moyennes des parcelles soumises à différents traitements ainsi que les valeurs du test "F" de Snedecor. On peut ainsi savoir si un facteur contrôlé déterminé a agi sur les valeurs du paramètre étudié (teneur en phosphore assimilable, indice d'instabilité structurale par exemple) ; pour cela, on compare les valeurs calculées "F" à des valeurs théoriques et on peut ainsi apprécier le degré de signification de l'action (par exemple l'azote a agi sur la teneur en carbone total au seuil 1 %).

Le problème était de définir les valeurs sur lesquelles allait porter l'analyse de variance. Les valeurs absolues à un instant donné "t" (début ou fin de cycle cultural) ont d'abord été retenues ; mais on s'est aperçu non seulement qu'elles se modifiaient sous l'action des traitements et (ou) du travail du sol (ce que l'on cherche à mettre en évidence) mais aussi et surtout qu'elles dépendaient des valeurs de l'instant précédent "t 1". Aussi avons-nous pensé utiliser les différences existantes entre deux périodes (inter ou intracycle) de culture pour juger de l'effet réel des facteurs contrôlés.

En comparant les résultats acquis en utilisant les valeurs absolues à un instant "t 2" et les différences entre les instants "t 1" et "t 2", nous avons constaté qu'il serait possible avec ces dernières :

- de mettre aussi bien en évidence l'action des facteurs contrôlés qu'avec les valeurs absolues, lorsque celles-ci étaient homogènes au temps "t 1" et donc n'avaient pas d'effets parasites sur celles au temps "t 2" ;
- d'écarter la possibilité de montrer qu'il y a des effets alors que ce ne sont que des artéfacts dûs aux variations déjà existantes entre les valeurs au temps "t 1" et à leur amplification éventuelle au cours de la période d'étude retenue ;

.../...

- enfin de prendre en compte des différences significatives entre les deux instants alors qu'elles ont été gommées par des variations en sens inverse qui ont affecté les valeurs à "t 1" et à "t 2".

Le second problème était de représenter graphiquement les résultats des études. Pour cela nous avons opté pour montrer d'une part les différences observées, c'est-à-dire les gains ou les pertes pendant la période étudiée pour un traitement donné ; d'autre part, les valeurs absolues des paramètres (teneurs, indice, rapport notamment) pour ce traitement considéré en début et en fin de la même période ; enfin le niveau du paramètre, toujours pour le même traitement, par rapport à un niveau de référence (en l'occurrence celui du début d'expérimentation).

Cette dernière représentation a l'avantage de permettre d'évaluer l'action de la fertilisation, des travaux du sol, de l'enfouissement de matériel végétal sur le paramètre étudié, donc en fait de l'effet des modifications de l'équilibre du milieu dues à l'action humaine ; en somme d'apprécier une dégradation ou une amélioration ou encore le bien-fondé de l'intervention compte tenu des résultats atteints (rendements par exemple).

Le troisième problème était d'étudier l'évolution des valeurs des caractéristiques d'un sol, avec ou sans l'action des facteurs contrôlés ; et de savoir si les modifications enregistrées étaient significatives ou non. Cela est fait d'abord en comparant les moyennes des traitements entre deux périodes à l'aide d'un test statistique simple, le "t" de Student-Fisher ; il permet de déterminer les couples de valeurs significativement différents. Ensuite en classant les différences entre les couples soumis à un facteur contrôlé (par exemple, les 9 couples de valeurs d'une interaction entre l'azote et le phosphore) pour essayer de confirmer l'action des facteurs contrôlés s'il y en a eu effectivement une (cf. chapitre 1) ; mais surtout pour dégager soit une évolution nette et identique quel que soit le niveau du facteur contrôlé étudié, soit une "tendance évolutive" si les valeurs du paramètre entre les deux périodes ne sont pas significativement différentes au plan du calcul statistique (test de Newman et Keuls).

*

I - RAPPEL DE LA METHODE D'ETUDE PRECONISEE ET DES DIFFICULTES RENCONTREES.

La première année de chacun des deux essais précités a pour but d'étudier la plus ou moins grande homogénéité du terrain sur lequel on doit les installer ; mais également de déterminer l'emplacement des blocs (ou répétitions) de façon que ces derniers "prennent en compte" les variations du terrain et qu'à l'intérieur de chacun d'entre eux on puisse retrouver la variabilité la plus faible entre les parcelles pour mieux mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés.

Dans ces conditions, l'étude des valeurs absolues des différents paramètres sur l'ensemble du terrain et donc sur les 54 parcelles définies (cf. série I, document I) a tout son sens. Aucune culture n'a encore été mise en place sur un terrain laissé en jachère depuis de nombreuses années. Un certain équilibre s'est installé durant ce laps de temps.

Les calculs effectués au cours des analyses de variance permettent de contrôler le nombre d'effets "bloc" selon l'une ou l'autre des orientations possibles et donc de choisir, en définitive, celle qui permet de tenir compte des deux principes rappelés ci-dessus. Nous renvoyons, à titre d'exemple, au rapport I de la série III.

D'autre part, le nombre d'effets observés au niveau des traitements ou des interactions (NP, NK, PK, NPK), alors que les parcelles n'ont reçu aucun apport de fertilisants, permet de se faire une idée sur les précautions à prendre lorsqu'il faudra conclure sur l'action des facteurs contrôlés (nombre d'effets "parasites" de première année, important ou non).

Au cours du second cycle de culture, avec les apports des éléments fertilisants que sont l'azote, le phosphore et la potasse, après les prélèvements de sol effectués à la fin de la préparation du terrain, l'agronome va étudier les effets des facteurs contrôlés sur les paramètres "plantes" (composantes du rendement, poids des tiges et feuilles, teneurs et exportations des grains ..., etc...) en appliquant le même système de calcul qu'il a utilisé au cours du premier cycle. C'est-à-dire qu'il effectuera les analyses de variance en prenant en compte les valeurs absolues, mesurées sur le terrain ou provenant d'analyses du laboratoire, des 54 parcelles et cela pour chaque paramètre considéré.

L'agronome considère en effet que chaque parcelle de l'essai a un statut donné de départ à chaque nouveau cycle. Il apporte ou non une quantité connue d'un élément considéré comme facilement assimilable et va tester si le fait de l'ajouter provoquera des différences sur les paramètres "plante".

Lorsque les moyennes calculées pour chacune des combinaisons des facteurs contrôlés, pour un paramètre étudié (ex. quantité de grains, exportation en azote, etc...), ne sont pas testées "significativement différentes les unes des autres" c'est-à-dire que la valeur du test "F" utilisé (dit de Snedecor ; cf. Série I, rapport 2) dans l'analyse de variance n'est pas supérieure au seuil minimum retenu, l'agronome considèrera que la fraction assimilable du sol est encore suffisamment importante en ce qui concerne ce facteur contrôlé et qu'aucun des niveaux de fertilisation n'a une action significativement différente de celles des autres au cours du cycle étudié.

En définitive, même si effectivement la réserve assimilable ou échangeable de l'élément considéré diminue (cela est du ressort du pédologue), elle est encore suffisamment importante pour fournir ce dont la plante a besoin sans qu'aucune baisse ou augmentation significative des valeurs du paramètre en question soit enregistrée d'un traitement à l'autre.

Au cours de ce même cycle, le pédologue va vouloir mettre en évidence l'action éventuelle de ces mêmes facteurs contrôlés sur les données physiques et chimiques du sol. Mais à la différence de l'agronome qui, à chaque cycle, suit la croissance de plusieurs centaines de pieds de maïs formés à partir de nouvelles graines aussi homogènes que possible et tirant ce dont ils ont besoin d'un sol fertilisé ou non, le pédologue va devoir travailler sur les valeurs d'un certain nombre de paramètres obtenus sur 54 parcelles déjà cultivées et qui auront de ce fait subi une évolution au cours du premier cycle, puis entre la fin du premier et le début du second (enfouissement de matière végétale et travail du sol).

Cette évolution aura soit nivelé les différences existantes au départ de l'expérimentation soit au contraire les aura accrues. De toute façon, les valeurs absolues mesurées ou analysées à la fin du 2ème cycle dépendront en partie des valeurs du début de ce même cycle, valeurs dépendant elles-mêmes de celles du premier cycle.

Du fait de ces changements qui seront observés à un moment ou à un autre de l'expérimentation (et même peut-être plusieurs fois au cours des 5 années que dure l'étude), il ne nous apparaît pas possible de considérer les résultats des analyses de variance effectuées sur les valeurs absolues à un instant "t" comme pouvant permettre de préjuger de l'action d'un ou de plusieurs facteurs contrôlés sur le paramètre en question ; ni, dans le cas d'une réponse affirmative, de déterminer quel est le niveau de fertilisation qu'il faut considérer comme responsable.

Aussi avons-nous été amenés à étudier la façon de faire apparaître l'action éventuelle des facteurs contrôlés sur les paramètres du sol en recherchant le type de données à retenir ; comment représenter les variations existantes entre les différents traitements quand elles auront été mises en évidence ; puis aussi comment tester et montrer les fluctuations susceptibles d'exister entre les valeurs absolues d'un paramètre obtenues à deux moments successifs ou non, même si aucun effet des facteurs contrôlés n'a pu être statistiquement constaté.

II - RECHERCHES DES DONNEES PERMETTANT DE METTRE EN EVIDENCE L'ACTION EVENTUELLE DES FACTEURS CONTROLES - COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC CEUX ACQUIS SUR LES VALEURS ABSOLUES.

21 - Recherche de nouvelles valeurs

En reprenant le contenu du principe énoncé ci-dessus concernant les valeurs absolues de chacun des paramètres à un instant donné, il apparaît donc nécessaire de rechercher les données sur lesquelles il sera possible d'appliquer le modèle linéaire d'analyse de variance (cf. Informations générales, I-2), de façon à mettre effectivement en évidence l'action des facteurs contrôlés. Mais aussi d'apporter les preuves nécessaires pour transformer l'énoncé du principe considéré comme un à-priori de départ en un énoncé qu'on peut démontrer.

Deux séries de nouvelles données peuvent être utilisées : les rapports (en valeurs absolues ou en pourcentage par rapport à une donnée de référence) entre les valeurs d'un paramètre à deux périodes et les différences de ces mêmes valeurs. Ces données calculées ont en commun le fait de ne pas être des données absolues d'un paramètre à un instant donné mais de faire apparaître les variations plus ou moins importantes qu'ont subies les valeurs de ce paramètre entre deux instants "t 1" et "t 0"; ces variations peuvent avoir été provoquées par l'action du travail du sol, l'enfouissement d'un engrais vert, un apport d'une quantité connue d'élément fertilisant ou tout autre action modificatrice de l'état du sol.

Pour notre part, nous avons préféré retenir les différences car elles sont exprimées dans la même unité que les valeurs absolues des paramètres. Les rapports ont le défaut d'être représentés soit par un nombre soit par un pourcentage (ex : $P_{2O_5} \text{ 80B} / P_{2O_5} \text{ 80A} = 1,21$ ou $\%P_{2O_5} \text{ 80B} / P_{2O_5} \text{ 80A} = 121 \%$). Nous verrons ensuite, par contre, l'intérêt d'étudier ce type de rapport pour mettre en évidence les fluctuations des valeurs d'un paramètre pour un traitement particulier par rapport au niveau de référence que sont les valeurs du début de l'expérimentation.

Une fois les différences calculées entre deux périodes successives (et éventuellement entre le début et la fin de l'essai pour obtenir une appréciation globale des effets de la culture en général, travaux du sol et apports d'éléments fertilisants confondus), il est alors possible d'effectuer les analyses de variance ; les résultats obtenus devront permettre normalement de montrer quel facteur contrôlé a effectivement agi et quel est le degré de signification du test "F" calculé par rapport aux valeurs théoriques aux différents seuils (5 % ; 1 % ; 0,1 %).

22 - Apports de l'étude des facteurs contrôlés - Différents cas de figures.

Des exemples ont été empruntés à l'essai mis en place sur un sol peu évolué d'apport sur alluvions limono-argileuses situé à Bourail. Seront étudiés d'une part, les effets "bloc" au cours de la période s'étendant de 1979 à 1982, d'autre part les effets des facteurs contrôlés (N, P et K) au cours du deuxième cycle de culture correspondant à la première année de fertilisation ; enfin on pourra comparer les résultats obtenus en utilisant soit les valeurs absolues (ou données brutes), soit les différences (ou données calculées).

221 - Les effets "blocs"

En début d'expérimentation l'étude des effets "blocs", comme nous l'avons déjà signalé (cf.1), permet de déterminer la meilleure disposition possible des répétitions de façon à prendre en compte l'hétérogénéité éventuelle du terrain et à avoir la meilleure homogénéité possible dans chacun des blocs.

Par la suite, il faudra distinguer deux types de périodes : celles qui correspondent à un travail du sol et à une culture sans fertilisation et celles qui coïncident à une période culturale fertilisée avec quelques travaux superficiels du sol.

.../...

- Dans le premier cas, seuls les effets "blocs" seront retenus ; l'étude des différences entre ce qui est observé entre les deux instants (t et t_0) devrait permettre de se rendre compte si le travail du sol et éventuellement l'installation d'une culture augmentent ou diminuent les hétérogénéités du terrain par rapport à ce qui avait été observé en début d'expérimentation. Pour confirmer le bien fondé de notre choix des valeurs, on comparera ces résultats avec ceux obtenus sur les valeurs absolues acquises à l'instant " t ".

- Dans le second cas, les effets "bloc" seront pris en compte au même titre que les effets des autres facteurs contrôlés. Si les valeurs de " F " calculées sont supérieures à celles de " F " théoriques, on pourra dire que l'action combinée soit de la culture et des fertilisants (entre début et fin de cycle) soit du travail du sol et de l'enfouissement de matériel végétal (résidus de récolte) et peut-être de l'arrière-effet des fertilisations (entre la fin d'un cycle et le début du suivant) a entraîné une augmentation ou une diminution de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité pré-existantes entre les deux blocs à la période précédente. On pourra juger de l'influence global de l'ensemble des facteurs contrôlés et non contrôlés sur les variations de la moyenne des valeurs d'un paramètre dans l'une ou l'autre des répétitions. Pour continuer notre parallèle, la même comparaison entre les résultats obtenus sur les valeurs absolues et les différences sera réalisée.

Notons de suite que l'on peut aussi comparer les moyennes des valeurs absolues des deux blocs à deux périodes différentes à l'aide du test " t " de Student-Fisher, même si aucune action significative des facteurs contrôlés n'a été mise en évidence par le test " F " de Snedecor. Nous reviendrons sur ce point important dans une autre partie de cette étude méthodologique (cf. 4).

222 - Les autres facteurs contrôlés.

Ces derniers se composent des effets des fertilisants ajoutés au cours des 4 cycles qui suivent celui destiné à tester l'hétérogénéité du terrain à l'aide des données "sol" et des données "plantes". Il s'agit des apports d'azote, de phosphore et de potasse effectués à trois niveaux différents (0, 1, 2, c'est-à-dire rien, dose 1 variant de 40 à 120 unités et dose 2 variant de 80 à 240 unités ; les variations dépendent de l'élément apporté) et avec toutes les combinaisons possibles c'est-à-dire N, P, K, NP, NK, PK et NPK.

Là encore deux cas sont à considérer : le premier concerne le cycle de départ et les périodes qui s'écoulent entre une fin de cycle et le début du cycle suivant lorsqu'aucun fertilisant n'est apporté ; le second a trait aux 4 périodes culturales proprement dites avec apports effectifs de fertilisants.

Dans la première hypothèse, s'il s'agit du test d'homogénéité, les effets éventuels de ces facteurs contrôlés ne seront pas pris en compte car ce sont des artéfacts ; par contre, s'il s'agit d'intercycles succédant à un cycle fertilisé, il sera prudent de tester si les facteurs contrôlés n'ont pas un possible arrière-effet.

Dans la seconde hypothèse, on prendra en compte tous les effets des facteurs contrôlés ; on testera leur influence à l'aide du "F" de Snedecor et on déterminera le niveau du facteur (ou de l'interaction) qui agit réellement. Ainsi, par exemple, on déterminera si c'est la dose 1 ou la dose 2 ou aucun apport en azote qui influence les quantités moyennes en phosphore assimilable des parcelles soumises à ces différents apports.

Pour cela, on utilise des tests statistiques qui permettent de montrer que deux moyennes sont significativement différentes l'une de l'autre à un seuil donné (5 %, 1 %, 0,1 %). Il faut pour cela, classer les moyennes calculées dans l'analyse de variance pour chaque traitement ; puis calculer les différences entre la plus élevée et chacune des autres, la seconde et les suivantes, etc... On calcule les différences "théoriques" pour les différents seuils considérés (elles dépendent de la variance résiduelle et du nombre de parcelles sur lesquelles s'effectue chaque traitement). Ce sont les plus petites différences significatives (p.p.d.s.) avec lesquelles sont comparées les différences réelles. On met ainsi en évidence non seulement le fait que le facteur contrôlé agit (test "F" de l'analyse de variance) mais aussi quel(s) est(sont) le(s) niveau(x) qui agit (agissent).

Dans l'exemple cité plus haut, on pourrait avoir les résultats suivants :

- classement des moyennes : PAT (N1)*, PAT (N2), PAT (Nø)

- différences calculées : PAT (N1) - PAT (N2) = 35,7 ppm
PAT (N1) - PAT (Nø) = 39,8 ppm
PAT (N2) - PAT (Nø) = 4,2 ppm

- calcul des ppds : au seuil 5 % 18,3 ppm
 au seuil 1 % 22,7 ppm
 au seuil 0,1 % 34,8 ppm.

* cela se lit : Teneur moyenne en phosphore Assimilable Truog des parcelles ayant reçu la fertilisation azotée Dose 2.

Déductions :

- les traitements N2 et N0 ne sont pas significativement différents quant aux résultats fournis donc à leurs effets ;
- le traitement N1 est différent d'une façon très hautement significative, quant à ses effets, des deux autres ;
- donc la dose moyenne d'azote N1 est celle qui effectivement agit sur les teneurs en phosphore assimilable du sol et qui est responsable de l'effet "azote" que le test "F" de l'analyse de variance avait mis en évidence.

Une remarque importante est à faire en ce qui concerne l'interprétation de l'action des facteurs contrôlés au niveau de l'interaction de 2ème ordre (NPK). Ainsi le fait de n'avoir que deux blocs, donc deux répétitions, pose le problème de savoir si les moyennes traitées ne fausseront pas les calculs et ne biaiseront pas les interprétations.

Les graphiques suivants (Fig. 1 à 6) représentent les valeurs absolues des traitements et les différences entre deux cycles successifs au niveau de chacun des blocs et de leur moyenne pour le phosphore assimilable Truog sur 6 périodes sur le site de Bourail.

On se rend compte que la moyenne peut facilement gommer ou atténuer les effets des facteurs contrôlés ou une tendance qui pourrait apparaître même si aucun effet n'était mis en évidence statistiquement (cas du traitement P0 notamment). Il faudra être très prudent pour l'interprétation s'il y a un effet significatif au niveau de cette interaction de 2ème ordre ; une moyenne ne permet de dire, lorsque les valeurs du même traitement dans les deux blocs évoluent en sens inverse, quelle est celle qui est à prendre en compte alors que si les valeurs évoluent dans le même sens il y a de fortes présomptions pour que elles-mêmes et leur moyenne donnent une idée exacte du sens des modifications entrevues.

De plus la comparaison de nombreuses différences existantes entre les traitements pris 2 à 2 avec les p.p.d.s. aux différents seuils permet seulement de mettre en évidence les traitements les plus efficaces (significativement différents des autres). En effet, il est peu probable d'isoler une ou deux combinaisons des trois facteurs N, P et K dont l'action amènera des différences toutes significatives statistiquement avec les 26 autres combinaisons. On pourra, en définitive, donner seulement une idée sur la nature des combinaisons les plus efficaces. Par exemple, ce seront celles où l'on retrouve régulièrement le niveau le plus élevé de phosphore (dose 2, P2) et les deux apports de potasse (K1, K2) ce qui permettra de dire que toutes les combinaisons contenant P_2K_1 ou P_2K_2 sont probablement les plus efficaces (6 au total).

.../...

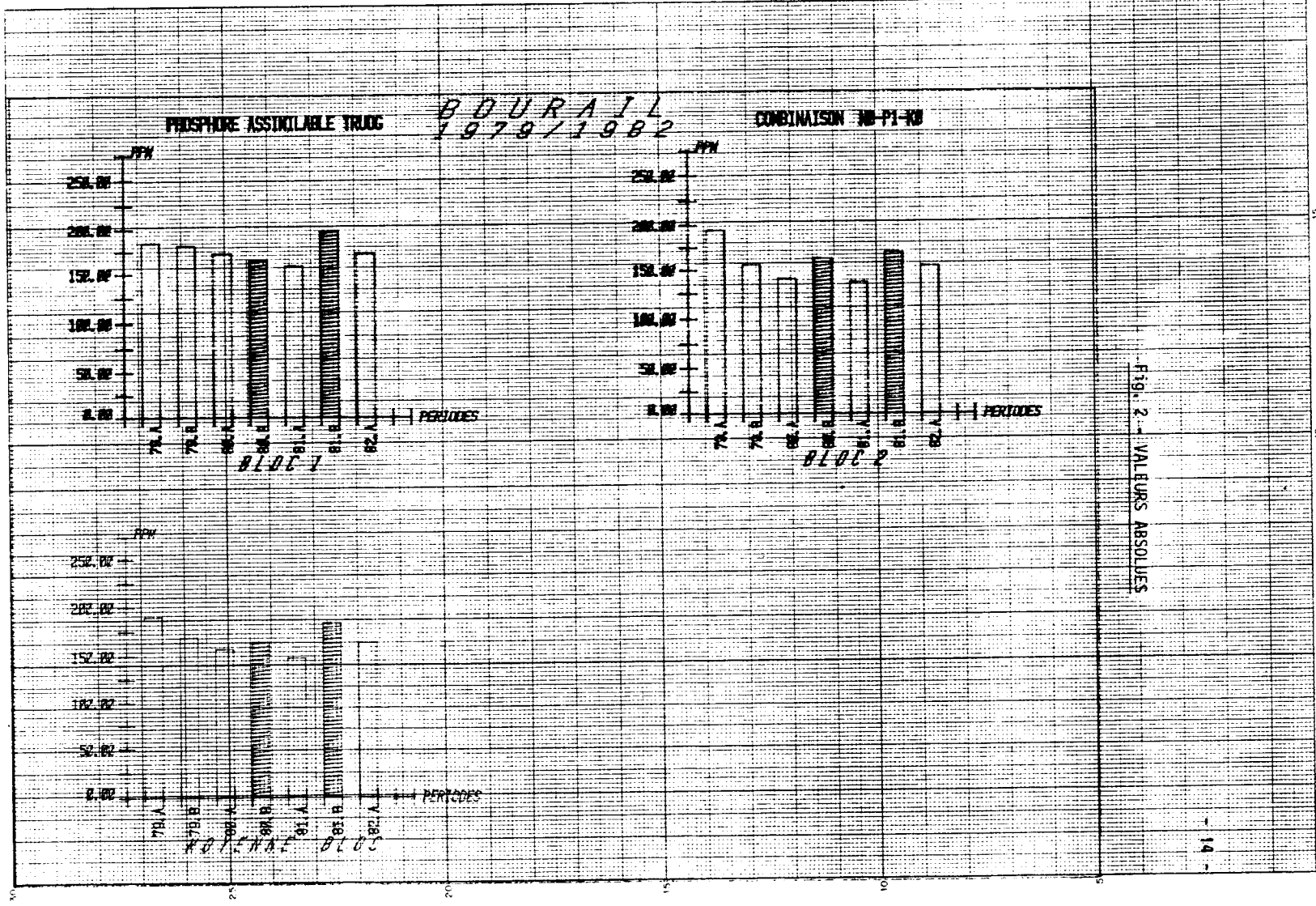
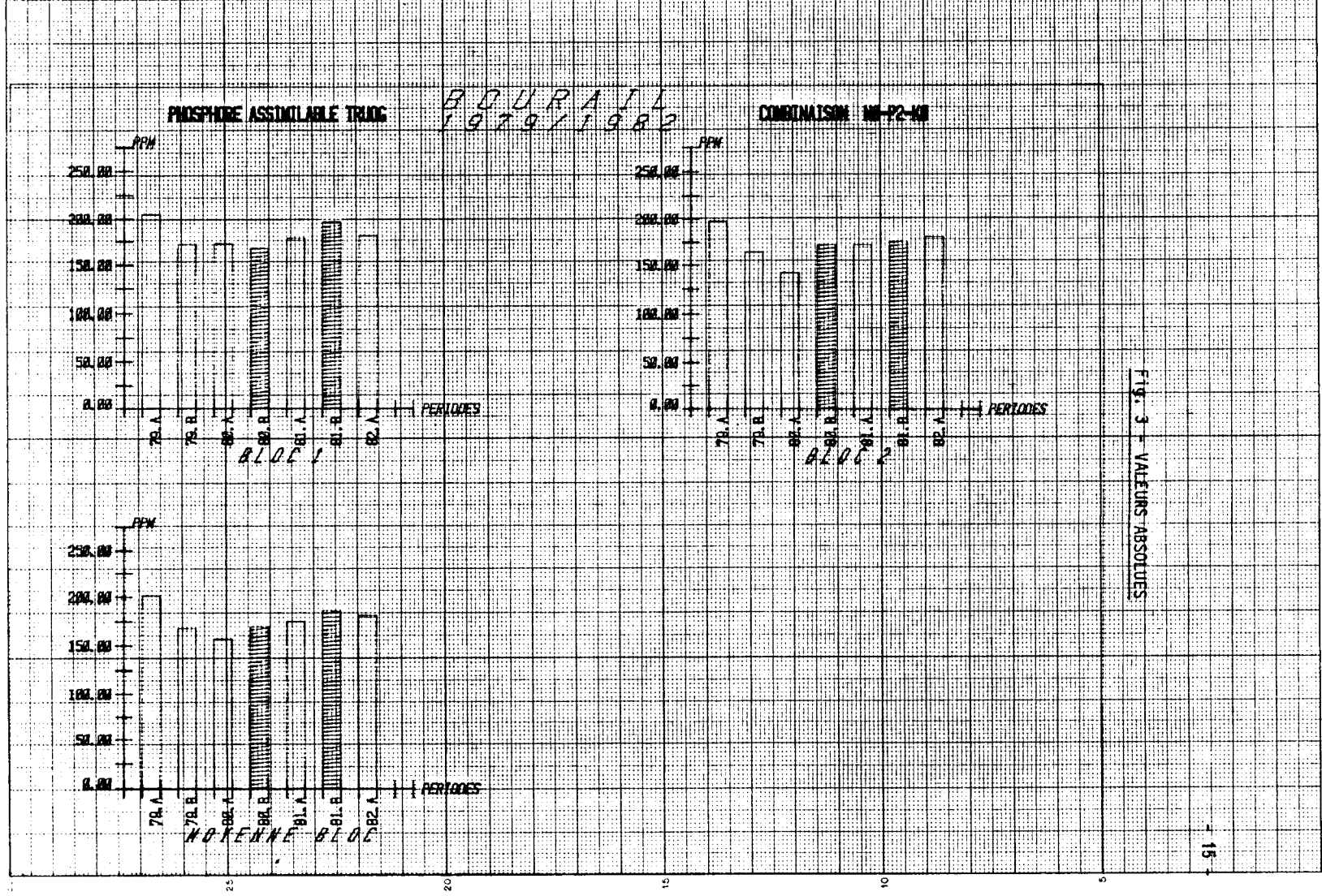
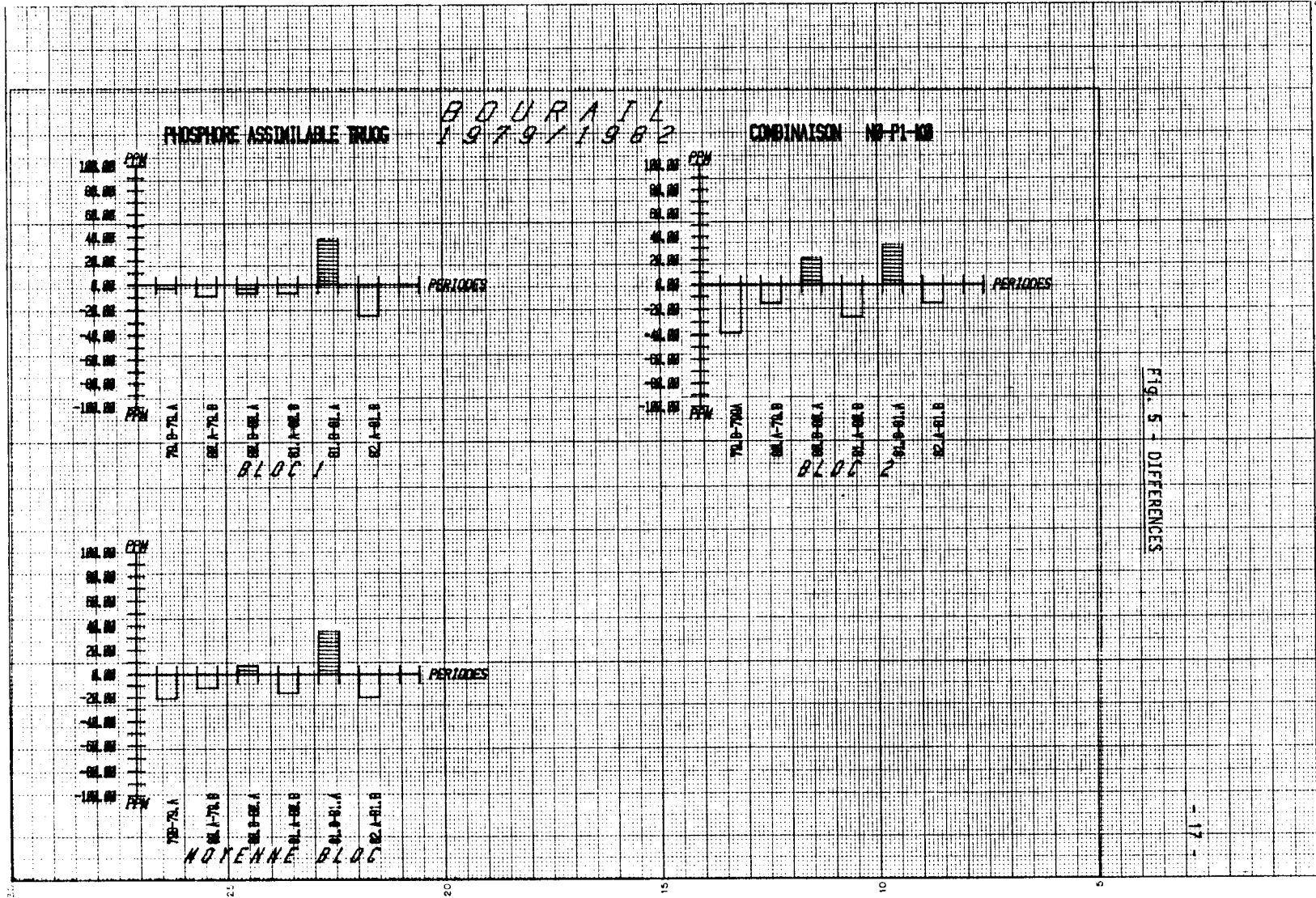


Fig. 2 - VALEURS ABSOLUES







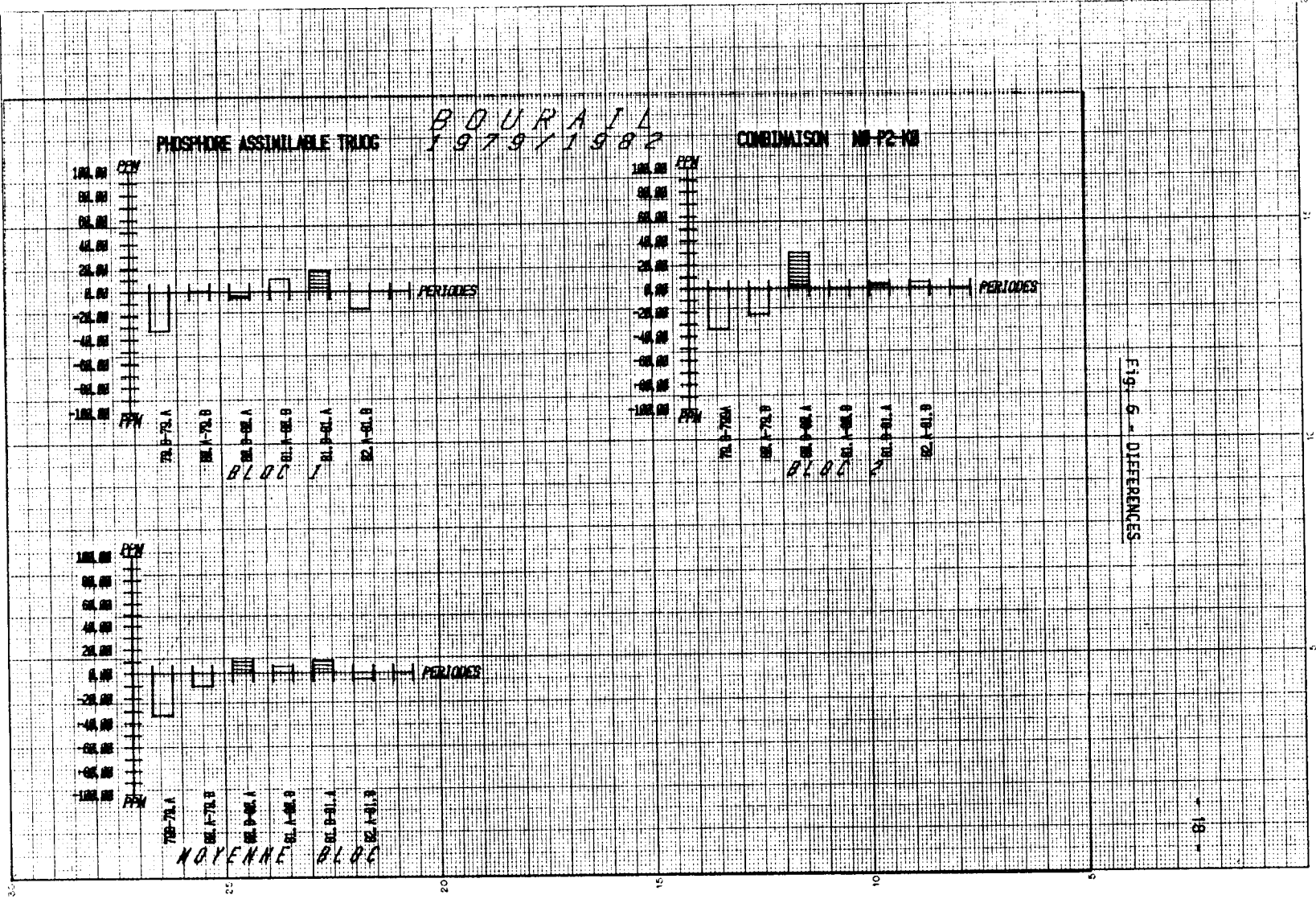


Fig. 6 - DIFFERENCES

23 - Effets des facteurs contrôlés observés au cours du second cycle à Bourail avec les valeurs absolues et les différences. Comparaison des résultats et explications à l'aide de graphiques.

231 - Les effets "blocs"

Les tableaux 7 et 8 montrent les effets "blocs" mis en évidence au cours des différentes périodes retenues comme exemples. Le tableau 7 est relatif aux valeurs absolues à un moment donné et le tableau 8 récapitule les résultats des traitements statistiques des différences entre 2 périodes successives.

Une première constatation est commune aux deux tableaux : les effets "blocs" ne se maintiennent pas d'une période à l'autre pour un même paramètre tant en ce qui concerne le seuil de signification (5 % ou 1 %) que le fait que la différence entre les deux blocs soit significative ou non. Ceci aurait tendance à justifier l'idée que les traitements ou le travail du sol ou les deux peuvent gommer des différences existantes au début ou au contraire les exacerber très fortement. Cette constatation justifie le suivi de l'évolution des moyennes "blocs" au cours des différents cycles de culture.

Par contre, les effets ne sont pas forcément significatifs aux mêmes périodes et pour les mêmes paramètres selon les valeurs étudiées. Il sont plus nombreux (sans tenir compte des résultats du test d'homogénéité -79- qui est le même dans les deux cas de figure) lorsqu'on prend en compte les valeurs absolues (40) que les différences (28).

Lorsque ces effets se manifestent simultanément, les valeurs calculées des "F" sont très nettement plus élevées lorsque l'on considère les différences entre 2 périodes successives que les valeurs absolues. Ainsi sur 17 effets simultanés, 13 sont "à l'avantage" (et souvent très nettement) des différences, notamment en ce qui concerne les paramètres de l'instabilité structurale (IS et agrégats) et les éléments échangeables.

Enfin seuls 3 paramètres dans les deux types de valeurs ont un nombre d'effets "blocs" pendant deux périodes sur trois ; ce sont PHK (acidité à KC1), PAT (phosphore assimilable Truog) et NAE (le sodium échangeable).

232 - Les effets des autres facteurs contrôlés.

Ces effets sont récapitulés dans les tableaux 9 à 12 (9 et 10 pour les valeurs absolues ; 11 et 12 pour les différences). Le tableau 13 recense les effets significatifs observés avec leur seuil pour les deux types de valeurs considérées, et les met en parallèle.

- 7 - RECAPITULATION DES ANALYSES DE VARIANCE.
(valeurs absolues).

PARAMETRES			MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théoriques aux niveaux 5 %, 1 % et 0,1 % se trouvent en tête de colonne)														
N°	NOM (SIGLE)	UNITES			BLOC 79 A		BLOC 79 B		BLOC 80 A		BLOC 80 B		BLOC 81 A		BLOC 81 B		BLOC 82 A		Nombre d'effets "bloc" sur 6 paramètres.
					4,23 7,72 13,74		4,23 7,72 13,74		4,23 7,72 13,74		4,23 7,72 13,74 ***		4,23 7,72 13,74		4,23 7,72 13,74 ***		4,23 7,72 13,74		
	TS				0,31		7,61	1	5,449	1			0,071		1,011		2,335		2
	AGRA				0,05		0,03		6,678	1			0,028		2,751		0,141		1
	AGRE				7,31	1	9,49	2	3,626	1			5,680	1	4,639	1	3,332		4
	ABRB				1,17		16,95	3	0,032				4,026		5,605	1	2,218		4
	PHE				2,59		0,01		0,747		0,223		20,09	3	0,093		5,140	1	2
	PHK				19,3	3	0,51		0,397		5,32	1	6,282	1	2,285		21,59	3	3
	CT				0,04		0,84		0,007		5,385	1	6,874	1	8,211	2	12,67	2	4
	NT				0,53		2,92		0,645	2	7,475	1	3,489		8,304	2	13,32	2	4
	PAT				11,32	2	34,22	3	118,3	3	1,064		5,825	1	13,055	2	34,18	2	5
	CAE				4,41	1	4,37	1	6,34	1	0,899		8,703	2	1,091		4,850	1	4
	MGE				9,02	2	2,64		1,025		0,199		7,305	1	1,058		1,664		1
	KE				5,65	1	4,66	1	18,03	3	12,086	2	0,192		5,537	1	1,918		4
	NAE				7,47	1	1,70		0,292		6,425	1	6,991	1	45,50	3	4,739	1	4

*** = avec fertilisation

8 - RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE

(différences entre deux périodes successives)

PARAMETRES			MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théoriques aux niveaux 5%, 1% et 0,1% se trouvent en tête de colonne)													
					BLOC 79 A		B 79B - 79A		B 80A - 79B		B 80B - 80A		B 81A - 80B		B 81B - 81A		B 82A - 81A	
N°	NOM (SIGLE)	UNITES			4,23 7,72 13,74					****			****					
	IS		0,31			4,26	1	30,38	3					0,509	0,529		2	
	AGRA		0,05			0,0007		11,52	2					1,736	2,29		1	
	AGRE		7,31	1	20,97	3	26,59	3					0,021	0,013		2		
	AGRB		1,17		11,93	2	22,43	3					0,030	1,089		2		
	PHE		2,59		1,52		1,00		0,072		8,87	2	34,60	3	0,596		2	
	PHK		19,3	3	5,13	1	1,63		6,508	1	15,21	3	9,013	2	1,026		4	
	CT		0,04		0,836		0,797		7,730	2	0,017		0,153		1,251		1	
	NT		0,53		5,045	1	2,909		2,412		0,092		0,027		2,545		1	
	PAT		11,32	2	0,393		11,59	2	217,7	3	11,33	2	0,093		5,84	1	4	
	CAE		4,41	1	0,347		1,43		1,209		2,92		9,793	2	4,998	1	2	
	MGE		9,02	2	2,928		0,705		2,599		8,03	2	22,07	3	0,030		2	
	KE		5,65	1	0,235		0,021		2,282		10,86	2	1,022		0,021		1	
	NAE		7,47	1	7,684	2	1,087		6,409	1	13,91	3	53,05	3			4	

**** = avec fertilisation

9 - RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE

PARAMETRES			MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théoriques aux niveaux 5%, 1% et 0,1% se trouvent en tête de colonne)																
					BLOC		N		P		K		NP		NK		PK		NPK		
N°	NOM (SIGLE)		UNITES			4,23 7,72 13,74		3,37 5,53 9,12		3,37 5,53 9,12		3,37 5,53 9,12		2,74 4,14 6,41		2,74 4,14 6,41		2,74 4,14 6,41		2,32 3,29 4,83	
B																					
221	DA	1B	G/cm ³	0,906	4,05	4,68	1	0,435		2,231		1,721		0,253		1,305		1,219		0,639	
225	ABT	1B	gCO ₂ /m ² /h	457,89	15,59	20,39	3	4,97	1	1,216		1,772		1,005		2,068		4,936	2	4,45	(2)
228	PHE	1B	"	6,21	2,32	0,223		10,70	3	0,437		0,437		0,490		0,450		2,695		1,185	
230	PHK	1B	"	5,14	1,95	5,32	1	11,840	3	2,560		0,958		0,350		0,074		3,554	1	0,101	
232	CT	1B	‰	27,38	6,84	5,385	1	0,553		5,379	1	1,193		0,285		0,771		0,336		0,947	
234	NT	1B	"	2,59	3,63	7,475	1	1,911		3,519	1	0,010		0,227		0,468		1,222		0,432	
236	PAT	1B	ppm	171,13	4,55	1,064		0,554		2,998		5,431	1	1,803		1,917		1,062		1,827	
241	CAE	1B	me %	18,14	8,29	0,899		2,554		1,446		0,882		0,452		0,127		3,145	1	1,569	
243	MGE	1B	"	16,73	4,29	0,199		1,017		1,164		0,326		0,346		0,389		0,344		0,691	
245	KE	1B	"	0,43	17,24	12,086	2	3,766	1	0,847		0,159		1,684		0,803		0,553		1,083	
247	NAE	1B	"	0,19	25,89	6,425	1	3,410	1	0,085		0,695		0,429		0,759		1,267		0,926	

10 - RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE

PARAMETRES				MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théorique aux niveaux 5%, 1% et 0,1% se trouvent en tête de colonne)													
						BLOC		N		P		K		NP		NK		PK	
N°	NOM (SIGLE)	UNITES	4,23 7,72 13,74			3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,32 3,29 4,83							
D																			
202	PORT 1B	%	63,52	2,60	0,901		0,492		2,598		1,891		0,300		1,002		0,677		0,736
204	RU 3.0 1B	mm	17,50	17,34	25,038	3	0,119		0,389		3,566	1	0,669		0,496		2,529		1,110
206	RU 2.5 1B	mm	29,27	9,41	8,747	2	0,562		0,273		4,772	1	1,176		0,299		2,588		0,930
208	CT/NT		10,56	5,86	0,933		1,275		2,586		1,796		0,401		0,842		0,289		0,927
210	SBE	me %	35,50	5,75	1,089		2,390		0,276		0,350		0,453		0,097		2,240		1,285
212	S/T	%	88,8	4,81	6,579	1	2,446		0,530		0,475		0,199		0,238		0,655		0,421
216	MGE/CAE 1B		0,93	6,94	0,988		1,742		4,390	1	1,804		0,290		0,457		3,201	1	1,291
218	MGE/KE 1B		40,20	14,74	10,73	2	4,561	1	0,961		0,109		1,235		0,443		0,249		1,267
220	CAE/KE 1B		43,58	16,37	7,155	1	3,540	1	0,064		0,066		1,327		0,395		1,106		1,901
224	PAT/NT 1B		0,066	5,45	7,367	1	1,708		1,621		4,297	1	1,550		1,742		1,497		2,097

Ainsi, les résultats des calculs sur valeurs absolues laissent apparaître une influence de l'azote sur les acidités (PHE, PHK), le potassium et le sodium échangeable (KE, NAE) ainsi que sur les rapports dans lesquels entre le premier nommé. Ce phosphore agit sur les composants de la matière organique (CT, NT) et sur le rapport des cations bivalents (MGE/CAE). Quant aux apports de potassium, leur action s'exerce sur le phosphore assimilable (PAT) et les réserves en eau utile (RU 3.0 et RU 2.5).

Au niveau des interactions, c'est celle regroupant Phosphore et Potasse (PK) qui apparaît nettement la plus efficace puisqu'une ou plusieurs combinaisons entraînent des variations importantes des valeurs des paramètres concernés. Elle agit sur l'activité biologique totale (ABT), l'acidité (PHK), le calcium échangeable (CAE).

L'examen des tableaux 11 et 12 permet de constater que l'azote agit également sur les 2 acidités, mais en plus sur le magnésium échangeable (MGE) et sur le rapport magnésium/calcium (MGE/CAE). Le phosphore agit sur l'activité biologique totale (ABT), sur le carbone total (CT) et le phosphore assimilable Truog (PAT). Enfin la potasse influence les teneurs en phosphore assimilable (PAT).

Quant aux interactions, ce sont celles du 2ème niveau (NPK), qui agissent. Elles occasionnent des changements seulement sur des variables dérivées sans que les variables de base concernées subissent cette action.

La comparaison des effets des facteurs contrôlés observés dans les deux cas permet de constater, comme cela est résumé dans le tableau 13 :

- que le nombre d'effets apparaît plus important dans le cas des valeurs brutes (21) que dans celui des différences (12)
- que les paramètres concernés sont assez nettement différents dans l'un et l'autre cas. Il y a cependant quelques effets qui s'observent pour les mêmes paramètres comme les 2 pH pour le facteur Azote, le carbone total pour le facteur phosphore et le phosphore assimilable pour le potassium.
- que les seuils de signification, et donc des valeurs des tests "F", sont plus élevés lorsqu'il s'agit des différences entre les deux périodes considérées.

11 - RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE

PARAMETRES			MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théoriques aux niveaux 5%, 1% et 0.1% se trouvent en tête de colonne)															
					BLOC		N		P		K		NP		NK		PK		NPK	
N°	NOM (SIGLE)	UNITES			4,23 7,72 13,74	3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,32 3,29 4,83								
	DA*	g/cm ³	0.0294		0.225	0.288	0.958	1.726	0.143	0.586	1.493	0.476								
	ABT*	g/m ² /h.	- 449.3		29.08	3 0.554	3.676	1 0.568	1.633	0.521	0.161	1.501								
	PHE		0.161		0.072	10.56	3 0.455	0.168	1.101	0.239	0.407	1.305								
	PHK		0.100		6.508	1 10.59	3 1.025	0.781	0.342	0.171	1.440	0.207								
	CT	‰	-0.269		7.730	2 0.169	7.655	2 0.292	0.809	2.404	0.832	1.821								
	NT	‰	-0.239		2.412	0.043	1.363	0.709	0.089	0.494	1.096	0.815								
	PAT	ppm	11.65		217.7	3 3.013	4.157	1 6.352	2 1.374	1.422	1.739	0.577								
	CAE	me %	1.27		1.209	1.239	0.668	0.024	0.126	0.425	1.007	1.243								
	MGE	"	0.169		2.599	4.569	1 0.152	0.200	0.069	0.696	0.495	1.782								
	KE	"	0.019		2.282	1.450	0.799	0.349	0.826	0.766	0.835	0.761								
	NAE	"	-0.013		6.409	1 2.579	0.067	0.230	0.482	0.917	1.969	1.297								

* Les différences sont calculées entre 1980B et 1979B puisque ces mesures ne sont réalisées qu'une fois par cycle.

12 - RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE

PARAMETRES			MOYENNE	C.V. %	F calculés des facteurs contrôlés et degré de signification (F théoriques aux niveaux 5%, 1% et 0,1% se trouvent en tête de colonne)													
					BLOC		N		P		K		NP		NK		PK	
N°	NOM (SIGLE)	UNITES			4,23 7,72 13,74	3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	3,37 5,53 9,12	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,74 4,14 6,41	2,32 3,29 4,83						
	POT*	%	- 1.223	0.287	0.352	0.860	1.884	0.102	0.606	1.445	0.506							
	RU 3.0*	%	0.505	0.744	1.043	1.157	2.594	0.183	0.702	1.127	0.508							
	RU 2.5*	%	1.223	0.076	1.739	2.226	2.159	0.871	1.128	0.829	0.197							
	CT/NT		0.777	16.42	0.298	6.173	2 0.014	0.938	1.639	0.304	3.097 (1)							
	SBE	me %	1.442	0.006	2.468	0.222	0.048	0.104	0.477	0.958	0.901							
	MGE/CAE		- 0.060	6.244	1 4.227	1 0.873	0.626	0.171	0.702	0.870	3.133 (1)							
	MGE/KE		0.958	1.094	1.029	0.964	0.145	0.746	0.441	0.491	1.217							
	CAE/KE		3.568	3.916	0.709	0.467	0.215	0.728	0.304	0.099	0.645							
	MGE+CAE/KE		4.477	2.401	0.738	0.703	0.163	0.732	0.388	0.230	0.833							
	PAT/NT		0.0098	127.16	3 1.460	1.192	3.579	1 1.245	2.287	0.516	0.694							

TAB.13 - Mise en parallèle des paramètres affectés par les facteurs contrôlés dans le cas où les analyses ont porté sur les valeurs absolues (80B) ou sur les différences (80B - 80A).

PARAMETRE	STYLES	N	P	K	NP	NK	PK	NPK	OBSERVATIONS
Densité apparente	DA								Les effets des facteurs contrôlés sur les valeurs absolues sont soulignés.
Activité biologique totale	ABT	<u>1</u>	/1			<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	
Acidité à l'eau	PHE	<u>3/3</u>							
Acidité au KCl	PHK	<u>3/3</u>					<u>1</u>		
Carbone total	CT		<u>1/2</u>						
Azote total	NT		<u>1</u>						
Phosphore assimilable Truog	PAT		/1	<u>1/2</u>					
Calcium échangeable	CAE						<u>1</u>		
Magnésium échangeable	MGE	/1							
Potassium échangeable	KE	<u>1</u>							
Sodium échangeable	NAE	<u>1</u>							
Parasite totale	PORT								
Reserve en eau utile à pF 3.0	RU3.0			<u>1</u>					
" " " pF 2.5	RU2.5			<u>1</u>					
Carbone total/Azote total	CT/NT		/2					/1	
Somme des bases échangeables	SBE								
Taux de saturation	S/T								
Magnésium échangeable/calcium échangeable	MGE/CAE	/1	<u>1</u>				<u>1</u>	/1	
Magnésium échangeable/potassium échangeable	MGE/KE								
Calcium échangeable/Potassium échangeable	CAE/KE	<u>1</u>							
Phosphore assimilable Truog/Azote total	PAT/NT			<u>1/1</u>					

Nous avons représenté graphiquement dans les figures 14 à 27,* les valeurs absolues de début et de fin de cycle pour permettre de voir si les premières ne sont pas influencées par les secondes, ainsi que les différences observées entre ces deux mêmes périodes. Pour chaque paramètre et le traitement qui fait varier les moyennes (N, P ou K), a été indiqué la valeur du test "F" de façon à mieux se rendre compte dans quel cas le facteur contrôlé a agi (valeurs absolues ou différences).

Si l'on examine un à un chacun des paramètres dont l'évolution a été marquée par l'action d'un ou de plusieurs facteurs contrôlés dans l'un ou l'autre cas (valeurs absolues et différences), on pourra, à l'aide des plus petites différences significatives (p.p.d.s.) théoriques calculées, mettre en évidence le niveau du facteur contrôlé qui a réellement agi et étudier la logique de cette action.

Effets significatifs à des seuils identiques avec des valeurs "F" très voisines et allant dans le même sens.

C'est ce qui se passe pour les deux acidités (pH à l'eau et pH au KCl appelés PHE et PHK). Il y a un effet "azote" important ; le niveau moyen de fertilisation N1 et l'absence d'apport augmentent les acidités alors que le niveau maximum N2 l'augmente très peu au regard des valeurs mesurées en début d'essai.(figures 14 et 15)

Les résultats similaires obtenus dans les deux cas (analyse de variance sur les valeurs absolues et sur les différences) s'expliquent par le fait que les acidités moyennes des parcelles soumises aux 3 traitements azotés sont très proches les unes des autres au début de ce 2ème cycle pris comme exemple (5,99 à 6,08) alors que celles de fin du cycle sont différentes les unes des autres (6,10 à 6,32).

De ce fait, que l'on prenne les valeurs absolues ou les différences pour tester l'action du facteur azoté, les effets mis en évidence seront très proches, pour ne pas dire identiques. Mais il faut remarquer qu'il est plus facile de "lire" graphiquement les variations lorsqu'on utilise les différences que lorsqu'on doit comparer les valeurs absolues.

Effets significatifs à des seuils différents mais allant dans le même sens.

C'est ce que l'on peut noter pour l'effet du facteur "phosphore" sur le carbone total et de celui du facteur "potasse" sur le phosphore assimilable Truog.(figures 16 et 17).

* une partie des graphiques a été mise en annexe.

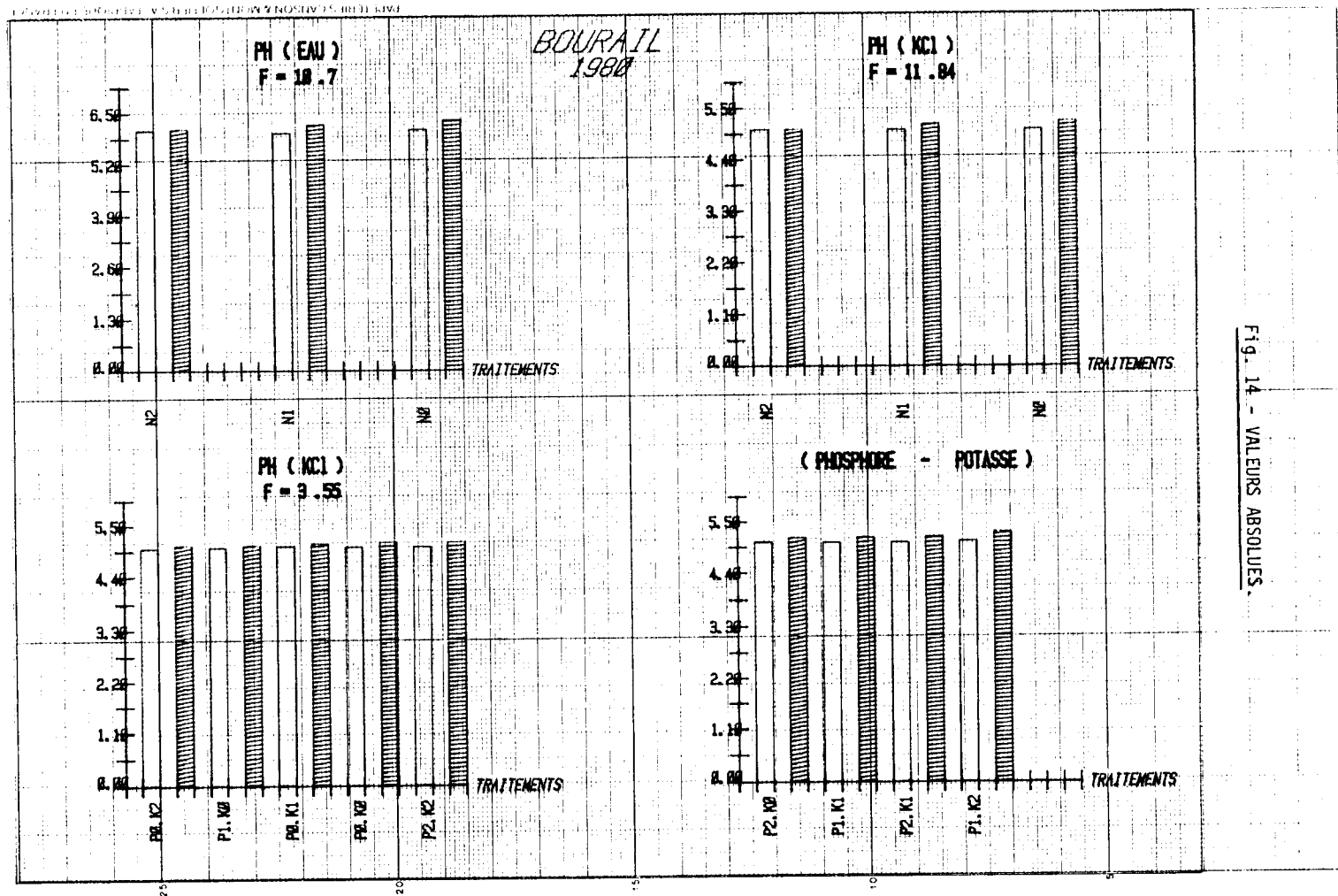


Fig. 14 - VALEURS ABSOLUES.

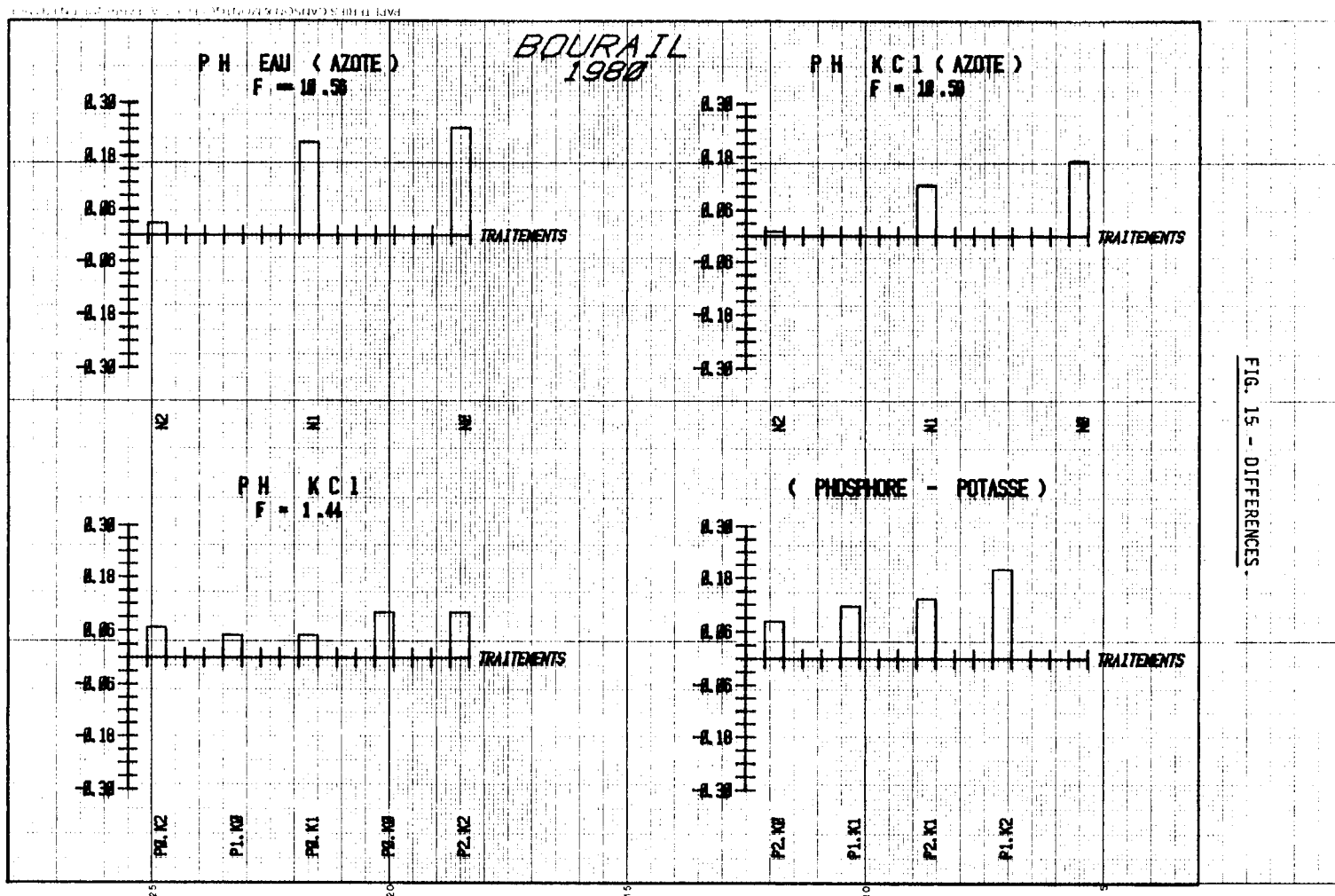


FIG. 15 - DIFFERENCES.

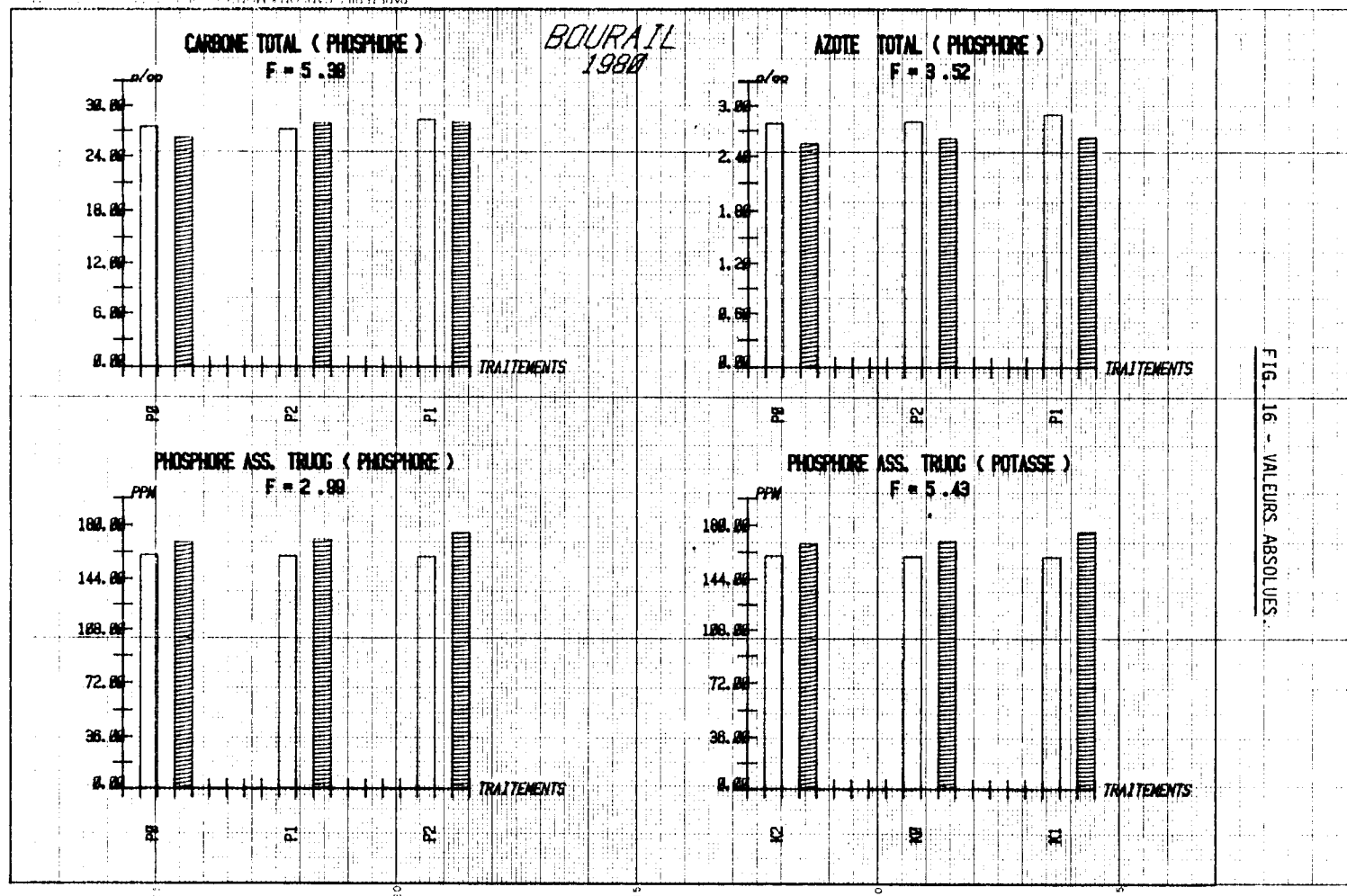


FIG. 16 - VALEURS ABSOLUES.

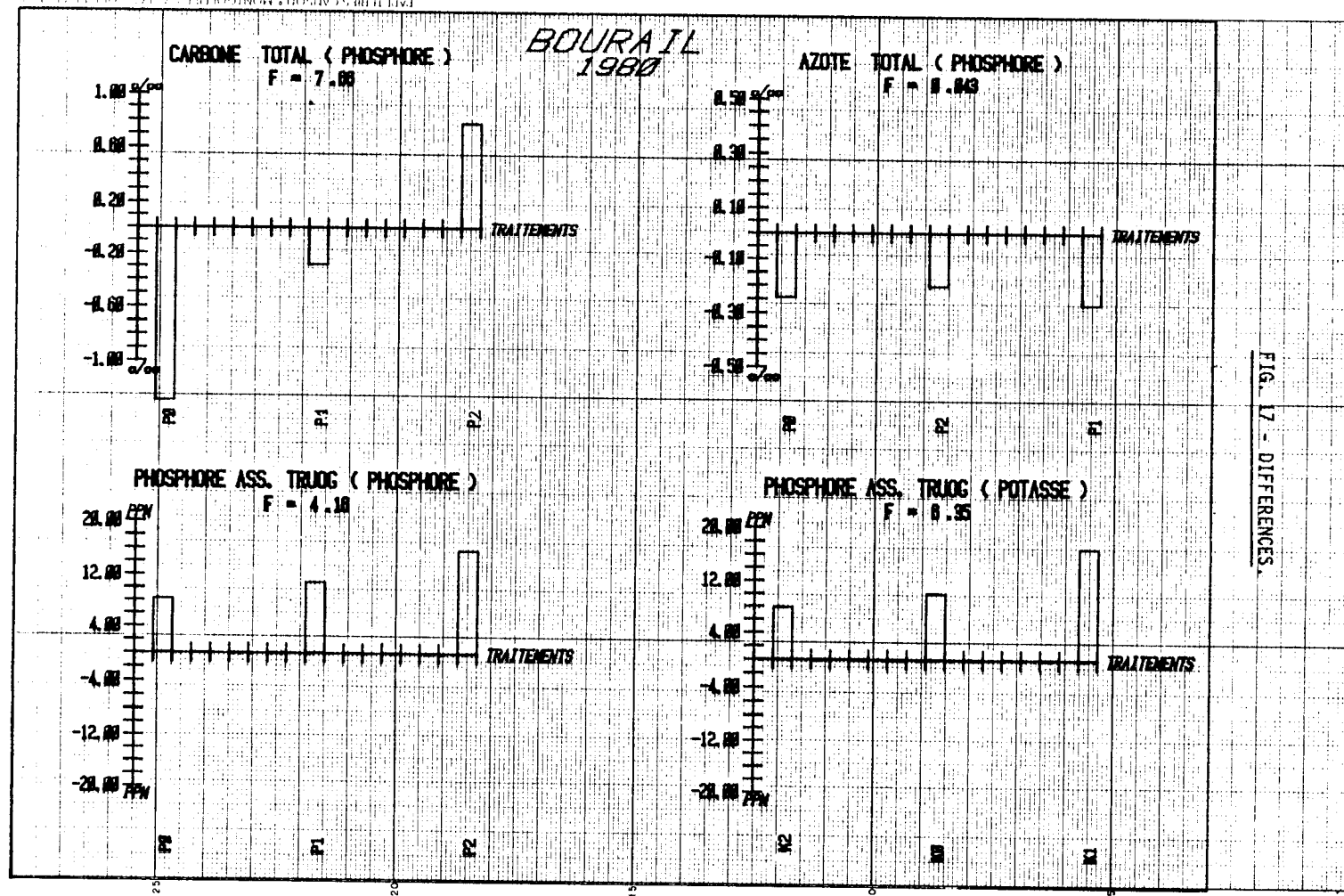


FIG. 17 - DIFFERENCES.

Etudions le premier exemple :

Dans le cas des valeurs absolues de fin de cycle, on met en évidence une action des apports de phosphore par rapport à l'absence de fertilisation phosphatée mais sans action prépondérante de l'un ou l'autre niveau (P1, P2). On pourra ainsi représenter cette constatation en écrivant :

$$\text{effet P1} \neq \text{effet P2} > \text{effet P}\emptyset$$

Par contre, si on considère l'action de ce même facteur "phosphore" sur les différences entre début et fin du cycle, on pourra écrire :

$$\text{effet P2} > \text{effet P1} \neq \text{effet P}\emptyset$$

Ce qui veut dire que la dose la plus forte P2 agit plus que la dose moyenne P1 et que l'absence de phosphore.

Dans les deux cas, on a mis en évidence un effet du phosphore sur la teneur en carbone mais, lorsqu'on utilise les différences, on s'aperçoit que la conclusion est plus nette en isolant l'action de la dose maximale de celles des autres.

On peut expliquer ce fait en considérant les valeurs moyennes des parcelles en début de cycle, c'est-à-dire avant de recevoir les fertilisations ; le classement était :

$$\text{CT (P1)}^* > \text{CT (P}\emptyset) > \text{CT (P2)}$$

Au cours du cycle, les moyennes du carbone total des parcelles recevant la dose P2, ont augmenté tandis que les moyennes de celles recevant la dose moyenne P1 diminuaient un peu et que les parcelles ne recevant rien voyaient leur moyenne chuter d'une façon importante. Ceci a eu pour conséquence de niveller les moyennes de fin de cycle des parcelles fertilisées et d'établir le classement :

$$\text{CT (P1)} \neq \text{CT (P2)} > \text{CT (P}\emptyset)$$

Par contre, les différences ont pris en compte non seulement la forte diminution des parcelles ne recevant rien (P0) mais aussi celles des parcelles recevant P1 par rapport à l'augmentation moyenne en carbone de celles fertilisées avec P2. On a pu, de ce fait, arriver à des conclusions proches mais plus précises comme citées plus haut.

* se lit : teneur moyenne en carbone total des parcelles recevant la dose de phosphore P1.

Effet significatif dans un cas, et non significatif dans l'autre

Deux exemples illustrent cette troisième combinaison : l'un montre un effet lorsqu'on travaille sur les valeurs de fin de cycle (facteur "azote" sur le potassium échangeable) et l'autre un effet avec les différences (facteur phosphore sur le phosphore assimilable Truog). (cf. figures 17 à 20).

* Si l'on étudie les résultats de l'analyse de variance sur les valeurs de fin de cycle de la potasse échangeable (KE), on s'aperçoit que le facteur azote a un effet. L'absence d'apport ou la dose N1 permet aux valeurs moyennes des parcelles recevant ces deux traitements d'être en augmentation par rapport à celles des parcelles fertilisées avec la dose maximale N2.

Par contre, lorsque l'on étudie les mêmes parcelles mais en prenant en compte les différences intracycles, on ne constate aucun effet du facteur "azote". Il y a une tendance dans le même sens comme le montre la figure 19 mais sans que l'action des facteurs contrôlés n'entraîne de différences significatives statistiquement entre les traitements.

Ceci s'explique par le fait qu'au début du cycle les parcelles devant recevoir N0 et N1 avaient déjà des teneurs en potassium échangeable très proches les unes des autres et plus élevées que les parcelles devant recevoir le traitement N2. Comme au cours du cycle de culture, il y a eu augmentation des teneurs dans les parcelles recevant les deux premiers traitements cités et diminution des teneurs dans celles recevant la plus forte fertilisation, on a exacerbé les différences qui existaient déjà. D'où la possibilité de mettre en évidence une action du facteur contrôlé "azote" sur la teneur en KE qui n'est en fait qu'un artéfact ; en effet, l'étude des différences intracycles ne montre qu'une "tendance". Ces différences calculées gommant les effets parasites que sont les variations dans les teneurs des parcelles avant apport d'azote.

Cette explication s'applique aussi à la réserve utile à pF 3.0 (RU 3.0) dont les représentations graphiques se situent en annexe.

** L'analyse de variance sur les différences intracycles des teneurs en phosphore assimilable Truog (PAT) permet de montrer que la dose la plus forte (P2) agit plus que la dose moyenne P1 et que l'absence d'apport P0. On constate en effet que les moyennes des traitements permettent d'écrire :

PAT (P2) - PAT (P1) NS
PAT (P2) - PAT (P0) seuil 1%
PAT (P1) - PAT (P0) NS

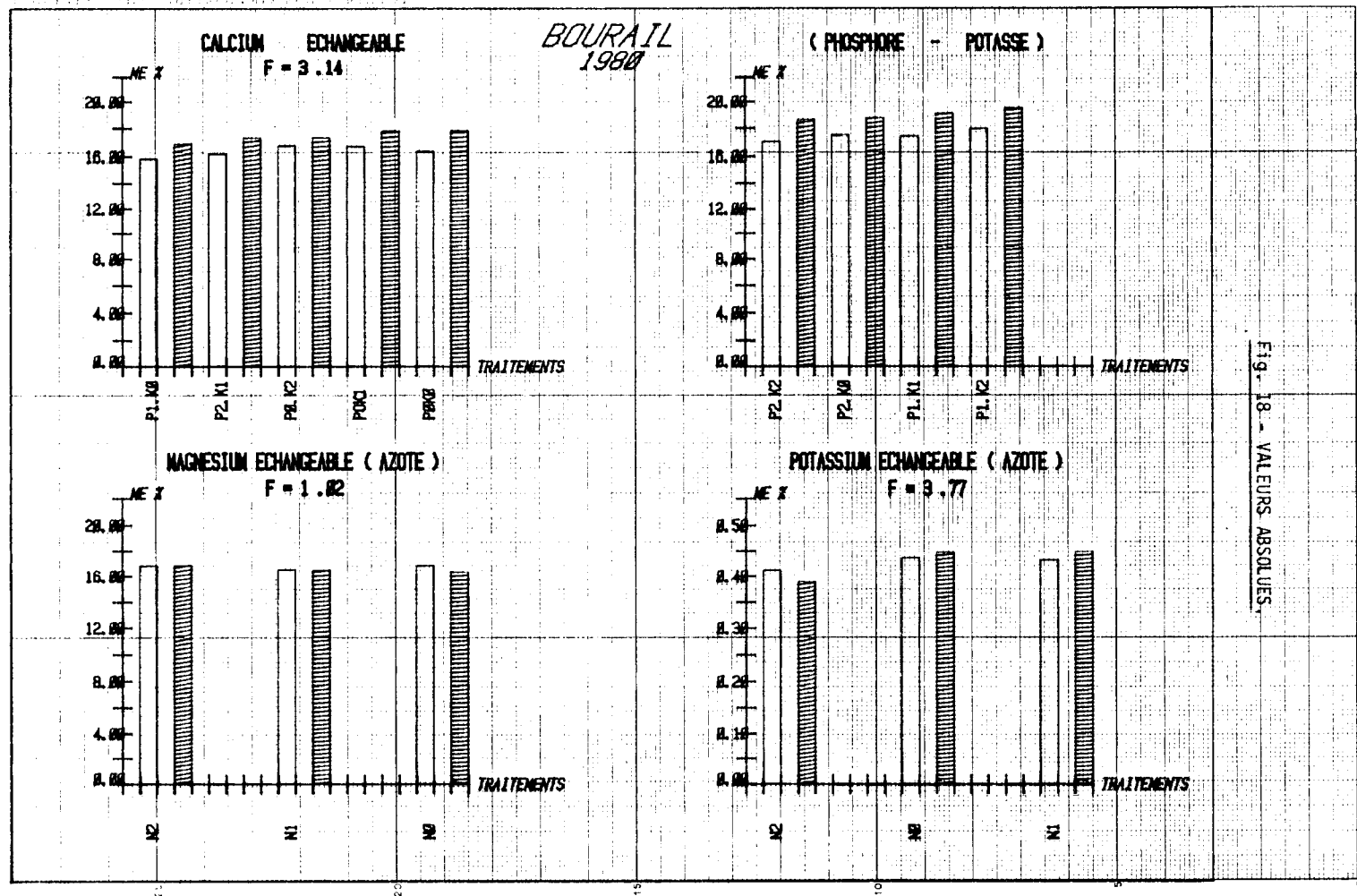


Fig. 18 - VALEURS ABSOLUES.

Fig. 19 - DIFFERENCES

Ceci nous amène à conclure que plus on amène de phosphore sous forme de fertilisant, plus la réserve assimilable, malgré les exportations et immobilisation par les cultures, augmente. Ceci semble très logique comme conclusion surtout pour un élément peu lixiviable contrairement à l'élément azoté.

Par contre, lorsqu'on examine les résultats obtenus à partir des valeurs absolues (teneurs en fin de cycle) on ne constate aucun effet significatif (" F " < " F " théorique au seuil 5 %), ce qui apparemment semble peu logique mais peut s'expliquer en partie par l'examen des valeurs en début et en fin de cycle. Le classement des moyennes des parcelles devant ou ayant reçu les 3 fertilisations étaient bien en fin de cycle $PAT (P2) > PAT (P1) > PAT (Po)$ comme cela est observé lorsqu'on travaille sur les différences. Par contre, en début de cycle le classement était $PAT (Po) > PAT (P1) > PAT (P2)$. Cet état de fait a diminué l'influence du facteur contrôlé phosphore sur les valeurs absolues car, pour arriver à l'ordre d'influence noté en fin de cycle, il a fallu en quelque sorte d'abord remettre les parcelles aux mêmes teneurs puis inverser les tendances. Les différences, permettent d'éliminer cet effet parasite de la non-homogénéité des parcelles de début de cycle qui est, comme nous l'avons rappelé dans le rapport III-1 un des principes pour mettre en évidence l'action de facteurs contrôlés à l'intérieur d'un bloc (cf. Massibot).

En conclusion, on peut dire que les résultats des analyses de variance réalisées sur les différences calculées entre les valeurs d'un paramètre aux temps " t " et " t_0 " permettent de mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés aussi bien que si l'on travaillait avec les valeurs absolues lorsque celles à t_0 sont très proches les unes des autres. Mais ils permettent de montrer l'action réelle et effective des facteurs contrôlés alors que le nivellement des valeurs absolues à t_1 ne le permettrait pas. De même, cela évite de parler de résultats significatifs alors que ce ne sont que des artefacts dus aux différences déjà existantes entre les valeurs au temps t_0 .

24 - Variables ajustées - Analyse de covariance.

L'analyse de covariance se réalise sur des variables ajustées. Elle suit un modèle linéaire similaire à celui de l'analyse de variance précédemment utilisé.

Une variable ajustée (y_1) résulte d'un calcul effectué sur une variable (y) permettant d'éliminer un effet parasite d'une autre variable (x) qui lui est lié linéairement et significativement. Autrement dit, lorsque les fluctuations de la variable (y) sont expliquées en partie par une autre variable (x) appelée covariable et que les fluctuations sont linéaires ($y = ax+b$) on peut essayer de calculer une nouvelle variable y_1 différente de y et appelée variable ajustée (pour les calculs, se reporter aux rapports I1, I2 rédigés dans le cadre de la même convention). On pourra appliquer alors à y_1 une analyse de covariance pour juger de l'influence des mêmes facteurs contrôlés (simples ou interactions). L'interprétation des résultats des "F" calculés par rapport aux "F" théoriques permettra de dire si l'action des facteurs contrôlés a été renforcée, est identique ou a été diminuée par rapport à ce qui avait été étudié sur les valeurs de la variable y .

Cette technique donne la possibilité de préciser l'influence de la covariable x sur les effets des facteurs contrôlés sur la variable y .

Dans le cas où on utilise des différences entre les valeurs d'un paramètre en début et fin de cycle par exemple, deux possibilités de calcul des variables ajustées se présentent :

- ou bien on calcule des variables ajustées à condition que les variables y (début de cycle) et y' (fin de cycle) soient liées linéairement à la même covariable x ;
- ou bien on corrige chacune des variables y et y' de l'influence de deux covariables différentes x et x' ; y est lié à x et y' est lié à x' linéairement et significativement.

Dans le premier cas, on peut éliminer par exemple les effets parasites de la teneur en argile en début de cycle sur les teneurs en phosphore assimilable en début et fin du 2ème cycle ; dans le 2ème cas, on élimine l'action parasite de la teneur en carbone total 80 A (CT) sur le phosphore assimilable 80 A et de la teneur en azote total 80 B (NT) sur le phosphore assimilable 80 B.

Cette deuxième façon de faire apparaît rendre l'interprétation des résultats obtenus par l'analyse de covariance plus difficile car il faudra considérer que les deux paramètres CT et NT agissent dans le même sens.

III - REPRESENTATION GRAPHIQUE

Pour diminuer le nombre de graphes et ne pas alourdir les futurs rapports, cette représentation graphique ne sera réalisée que pour les paramètres évoluant d'une façon significative sous l'action des facteurs contrôlés et uniquement pour les facteurs effectivement actifs. Ainsi on représentera par exemple les résultats obtenus par l'action du facteur phosphore sur la teneur en carbone total en excluant tous les autres facteurs (N, K, NP, NK, NPK).

Trois types de représentations seront utilisées pour mieux faire ressortir ce qui a été mis en évidence dans l'étude de l'action des facteurs contrôlés.

Représentation des différences absolues entre les valeurs mesurées ou calculées à deux instants donnés (successifs ou non).

On représente ainsi les gains ou les pertes pour un paramètre dans l'unité habituellement utilisée pour ce dernier (ce peut être bien sûr aussi une augmentation ou une diminution d'un indice ou de la valeur d'un rapport).

Ceci permet de visualiser les effets des traitements que subit le sol sur les niveaux des caractéristiques physico-chimiques suivies à chaque période.

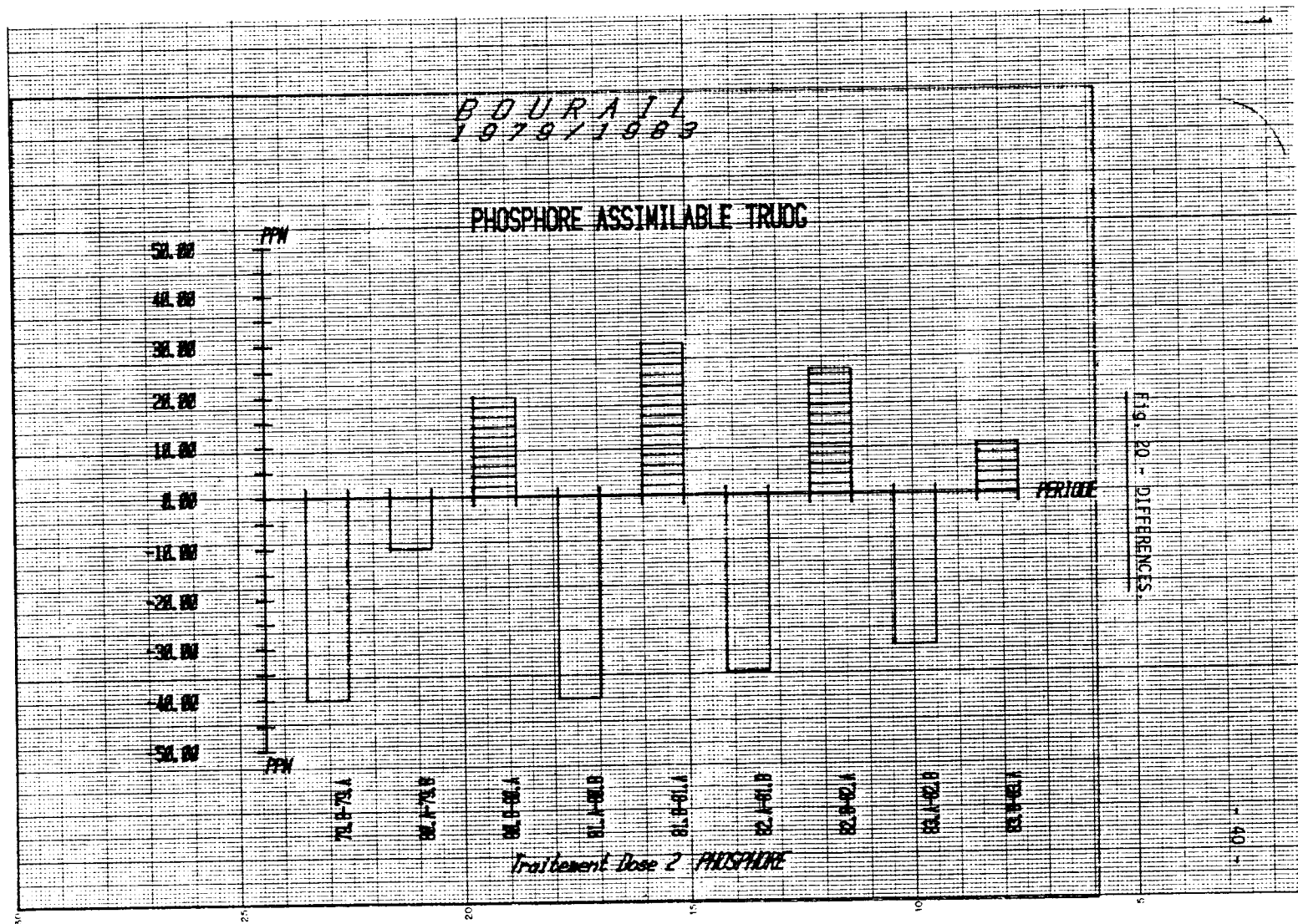
Représentation des valeurs absolues

On représente les valeurs absolues d'une teneur, d'un indice ou d'un rapport qui caractérise un paramètre. Cela se fera pour un traitement donné, soit au cours d'un cycle, soit au cours de plusieurs cycles, pour mettre en parallèle les valeurs successives qu'a pris ce paramètre.

Cela permet, par exemple, de connaître le stock total d'un élément à chaque cycle et de le comparer directement à celui du cycle précédent.

Représentation en % des valeurs à différents moments par rapport à une valeur prise comme référence. Ce sont des valeurs relatives.

Pour cela on nivelle la valeur de départ considérée comme la base de référence en lui attribuant arbitrairement la valeur 100. Chaque valeur de parcelle élémentaire ou d'une moyenne de parcelles pour un paramètre donné sera ramenée, au cours des instants successifs considérés, à un pourcentage calculé par rapport à la teneur ou au niveau qu'avait ce paramètre en début d'expérimentation.



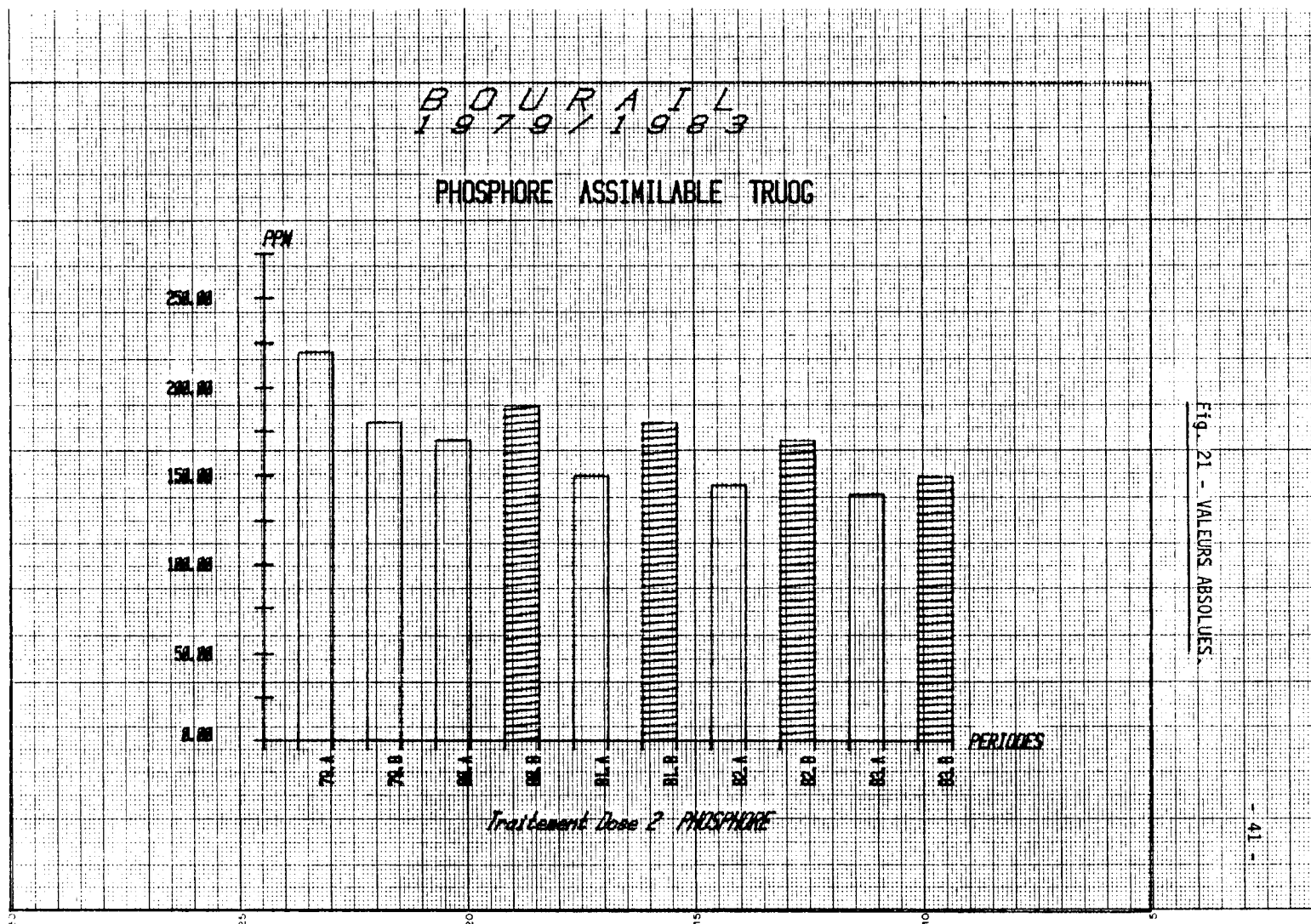
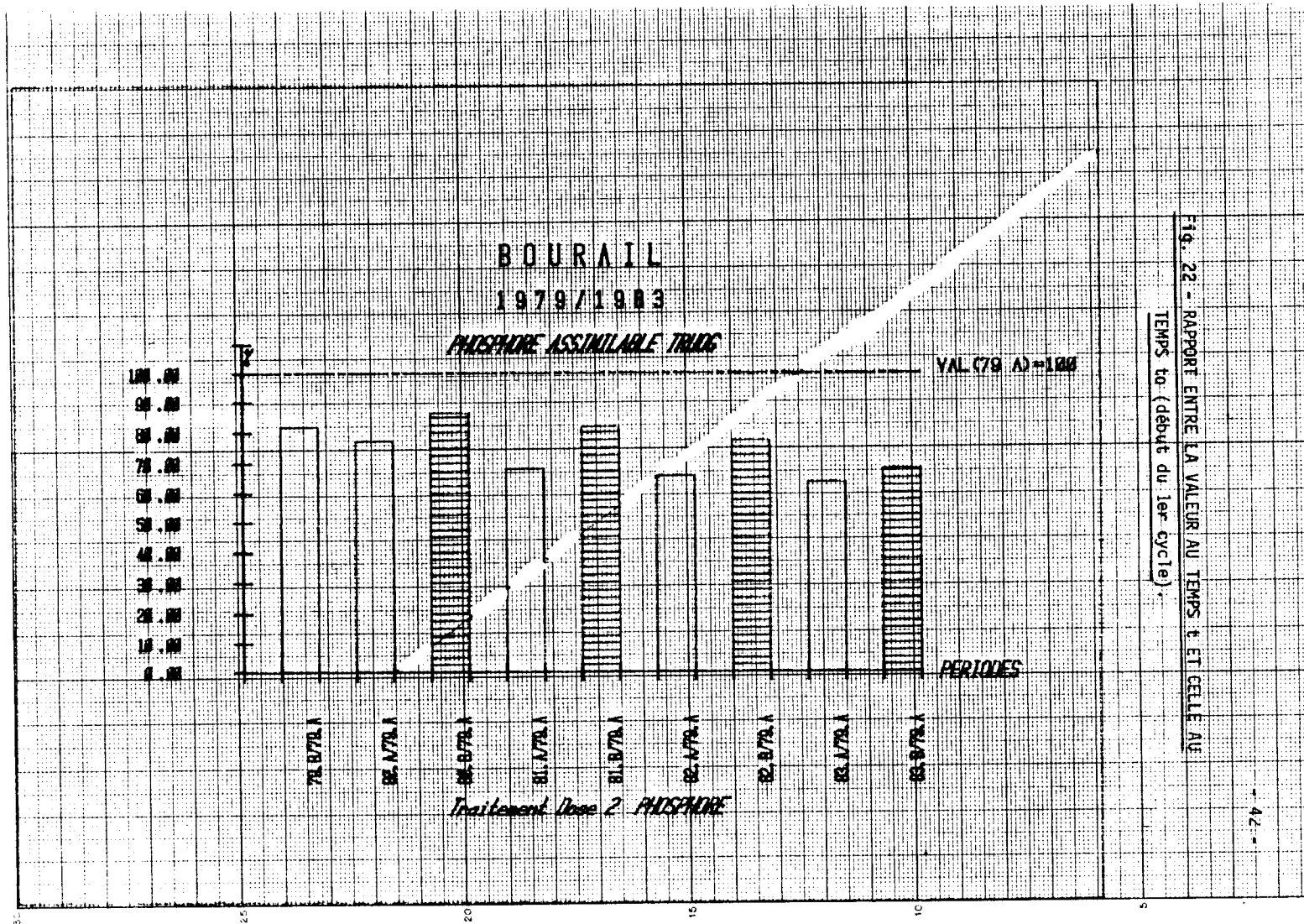


Fig. 21 - VALEURS ABSOLUES.



Cette représentation graphique donnera la possibilité de se rendre compte, avec plus de facilité, du niveau atteint par la moyenne d'un traitement par exemple et d'en déduire si on a atteint, dépassé ou au contraire si on est en dessous du niveau de départ ; d'apprécier l'influence d'une préparation culturale avant semis, d'un enfouissement d'engrais vert ou d'un apport de fertilisant sur le sol.

IV - ETUDE DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX DES DIFFERENTS PARAMETRES ET DONC DU NIVEAU DE FERTILITE ATTEINT.

Précisons que cette étude est réalisée par comparaison des différences des moyennes générales ou des moyennes des traitements qui existent entre deux périodes successives ou non. Ceci se réalise à l'aide du test "t" de Fisher-Student. Cette étude est menée indépendamment de l'étude de l'action des facteurs contrôlés ; cependant nous verrons que l'on confirme l'action de ces derniers quand ils ont été effectivement actifs, c'est-à-dire que les valeurs "F" étaient significatives au seuil minimum de 5 %.

Mais il est à noter aussi que l'on peut mettre en évidence des différences hautement significatives entre les valeurs d'un paramètre à deux instants différents sans pour autant pouvoir les expliquer par les facteurs contrôlés.

Par exemple, on peut avoir des différences importantes dans les teneurs en azote quelque soit le niveau des traitements des facteurs contrôlés. Ainsi on a obtenu pour l'année 1980 à Bourail :

Traitement N0 - 0,24 ‰ azote
Traitement N1 - 0,25 ‰ azote
Traitement N2 - 0,235 ‰ azote.

Le "F" de l'analyse de variance a une valeur très nettement inférieure au seuil minimum retenu (5 %) et pourtant les valeurs des moyennes des parcelles ayant reçu les 3 traitements sont significativement différentes en fin de cycle de celles mesurées en début de cycle. Il faudra expliquer ces variations non négligeables soit par une action générale de lessivage ou par des demandes en azote des plantes-tests qui éliminent l'influence du facteur contrôlé en faisant diminuer de manière similaire les teneurs en azote total.

D'autre part, cette étude systématique de l'évolution des moyennes par traitement en les classant permet aussi de signaler une "tendance évolutive" qui n'a pas été mise en évidence lors de l'étude des facteurs contrôlés puisqu'on n'a pas pris en compte le paramètre considéré, la valeur du "F" étant inférieure au minimum retenu. Donc l'étude de l'évolution des valeurs entre deux périodes complète celles des facteurs contrôlés.

Elle a en outre un avantage important en ce sens qu'elle peut permettre, pour l'étude des valeurs d'un ou plusieurs paramètres du sol sur les parcelles ne recevant aucune fertilisation, de mettre en évidence une action éventuelle des apports alluvionnaires, en période de cyclone, dans la fourniture des éléments fertilisants. Pour cela il faut comparer l'évolution des moyennes des traitements des parcelles "NOPOKO" pendant deux intercycles, l'un ayant permis des apports, l'autre non.

On considère que, sur ces parcelles qui ne reçoivent donc aucune fertilisation, les seules fournitures en azote, phosphore et potasse proviennent de la restitution des immobilisations des cannes de maïs (C), de l'enfouissement des engrais verts (EV) et des dépôts alluvionnaires (DA).

Par hypothèse, le facteur (EV) sera considéré comme étant une constante c'est-à-dire qu'il sera identique quelle que soit la parcelle et la période considérées. Le facteur (C) est connu par analyse et pesée des cannes de maïs récoltées. La seule inconnue reste le facteur (DA). Si on pose que P_{20_5} est le sigle du phosphore, on peut écrire que sur une parcelle NOPOKO, on a :

$$P_{20_5} (A) - P_{20_5} (B) = P_{20_5} (EV) + P_{20_5} (C) + P_{20_5} (DA)$$

ou $P_{20_5} (A) - P_{20_5} (B) =$ différence entre les teneurs au début d'un cycle et en fin du cycle précédent.

$$\text{Posons : } P_{20_5} (A) - P_{20_5} (B) = P_{20_5} (x)$$

$$\text{On a alors : } P_{20_5} (x) - P_{20_5} (C) = P_{20_5} (DA) + P_{20_5} (EV)$$

$$\text{Et : } P_{20_5} (x) - P_{20_5} (C) = P_{20_5} (DA) + C_k$$

$$\text{Posons : } P_{20_5} (x) - P_{20_5} (C) = P_{20_5} (y)$$

Pour savoir s'il y a en effet des apports alluviaux sur les teneurs en phosphore assimilable Truog, il suffit de comparer les valeurs $P_{20_5} (y)$ au cours de deux intercycles l'un avec dépôts alluvionnaires, l'autre sans.

.../...

On peut écrire : $P_{20_5}(y1) = P(DA) + Ck$

$$P_{20_5}(y2) = Ck$$

Donc si $P_{20_5}(y1) - P_{20_5}(y2) \neq 0$

On peut estimer qu'il y a en effet des dépôts alluvionnaires aux erreurs près dues à l'hypothèse énoncée au début du raisonnement concernant l'action des engrais verts.

L'étude de l'évolution des valeurs des différents paramètres sur les deux parcelles non fertilisées permet également de se rendre compte jusqu'à quel moment on peut cultiver sans apport de fertilisation minérale, tout en ayant des rendements élevés non significativement différents de ceux des autres parcelles recevant une fertilisation.

On suivra avec attention les paramètres tant physiques que chimiques du sol au cours des différentes périodes. Il ne faut pas en effet dépasser certains seuils, surtout pour les caractéristiques physiques, sous peine d'atteindre un point de non-retour.

Du point de vue graphique on représentera les différences observées pour l'ensemble des paramètres suivis régulièrement au cours de l'essai en tenant compte des différents traitements (élémentaires et interactions de premier ordre). Les données seront classées par ordre d'action croissante ou décroissante selon les paramètres concernés. Le seuil de signification qui caractérise une différence entre les valeurs des deux périodes concernées sera figuré par des étoiles (1 pour 5%, 2 pour 1 % et 3 pour 0,1 %) au-dessus des batonnets du graphique (cf. figure 23). Ce mode de représentation graphique, similaire à celui utilisé lors de l'étude des facteurs contrôlés, permet de comparer les schémas entre eux et de rendre plus clair l'évolution ou la "tendance évolutive" constatée par rapport aux seuls tableaux de chiffres.

V - CONCLUSIONS

Il ressort de cette approche méthodologique :

- qu'il apparaît plus logique et plus facile de mettre en évidence l'action éventuelle des facteurs contrôlés en utilisant les différences intercycles ou intracycles ou entre deux moments plutôt que les valeurs absolues à un instant donné.

- que l'on peut représenter graphiquement non seulement les fluctuations, c'est-à-dire les différences mesurées ou calculées mais aussi le niveau des valeurs absolues des paramètres à un instant "t" (indice, teneur, etc...) et le niveau de la valeur d'un paramètre pour un traitement déterminé par rapport à celui qu'avait ce paramètre à un instant "t 0" de référence (en l'occurrence ce peut être celui du début de l'expérimentation). Cela permet de voir si on a pu, par le travail du sol et l'apport de fertilisant sans oublier les enfouissements des cannes de matière sèche et d'engrais vert, au moins conserver la fertilité naturelle du sol, l'améliorer ou au contraire la dégrader.

- que l'étude des facteurs contrôlés et celle de l'évolution des moyennes générales (cycle sans fertilisation) ou des moyennes par traitement (cycle avec fertilisation) ont des buts différents bien que certaines conclusions émises lors de la première puisse se trouver confirmer par la seconde.

*

A N N E X E .

Autres graphiques comparatifs des valeurs absolues
et des différences entre deux périodes (résultats d'analyse con-
cernant le sol peu évolué de Bourail).

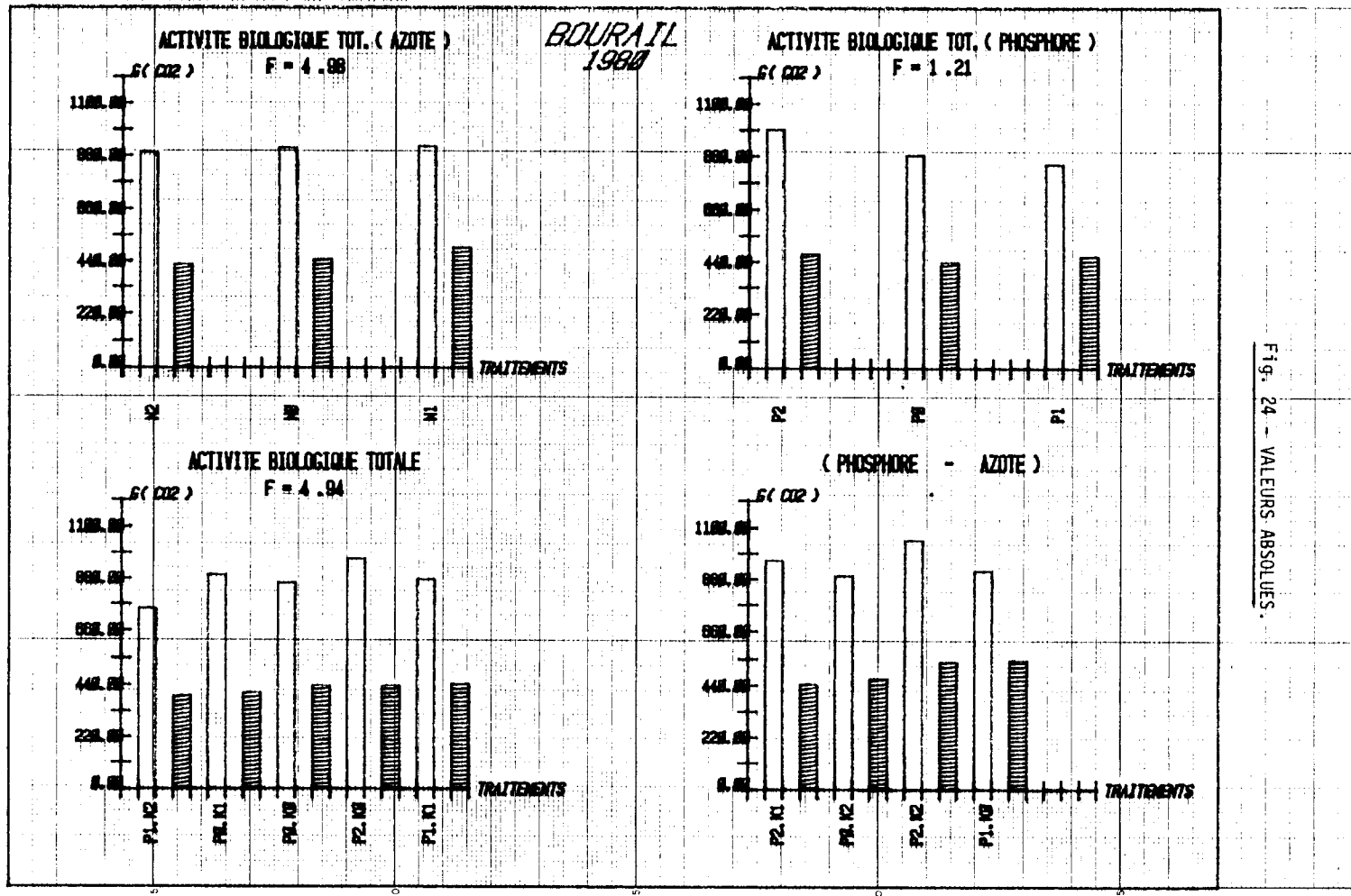


Fig. 24 - VALEURS ABSOLUES.

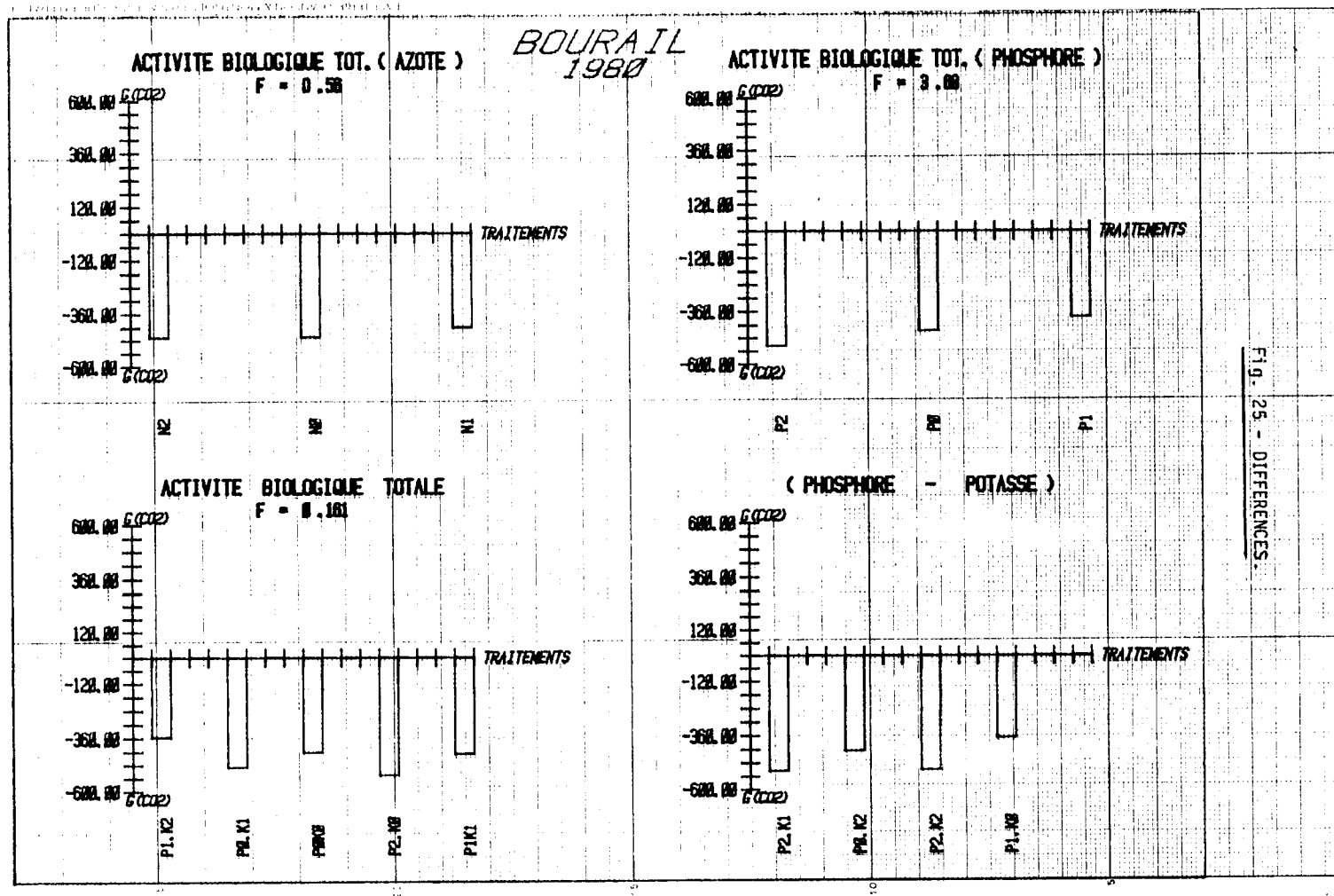
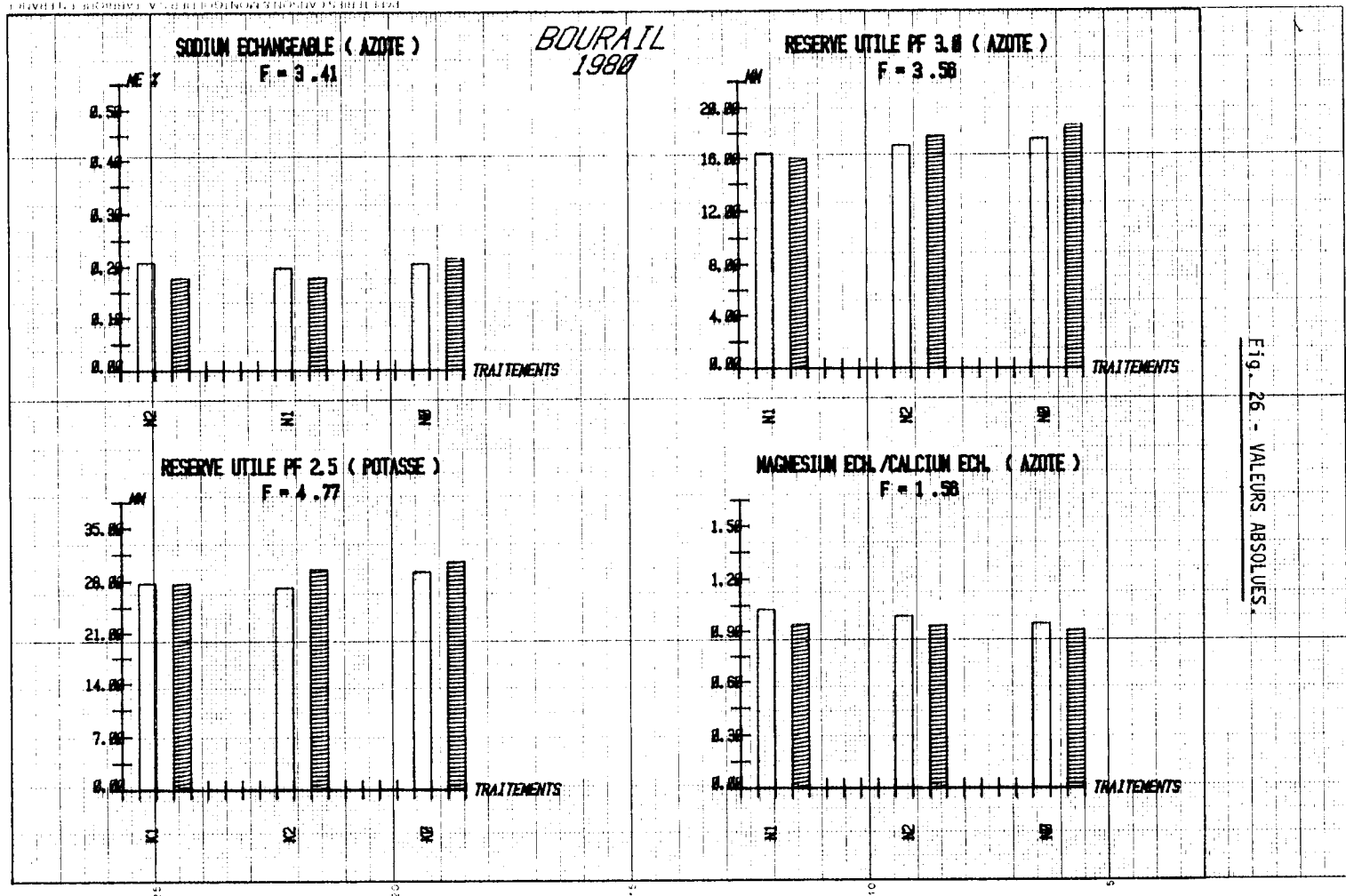


Fig. 25 - DIFFERENCES.



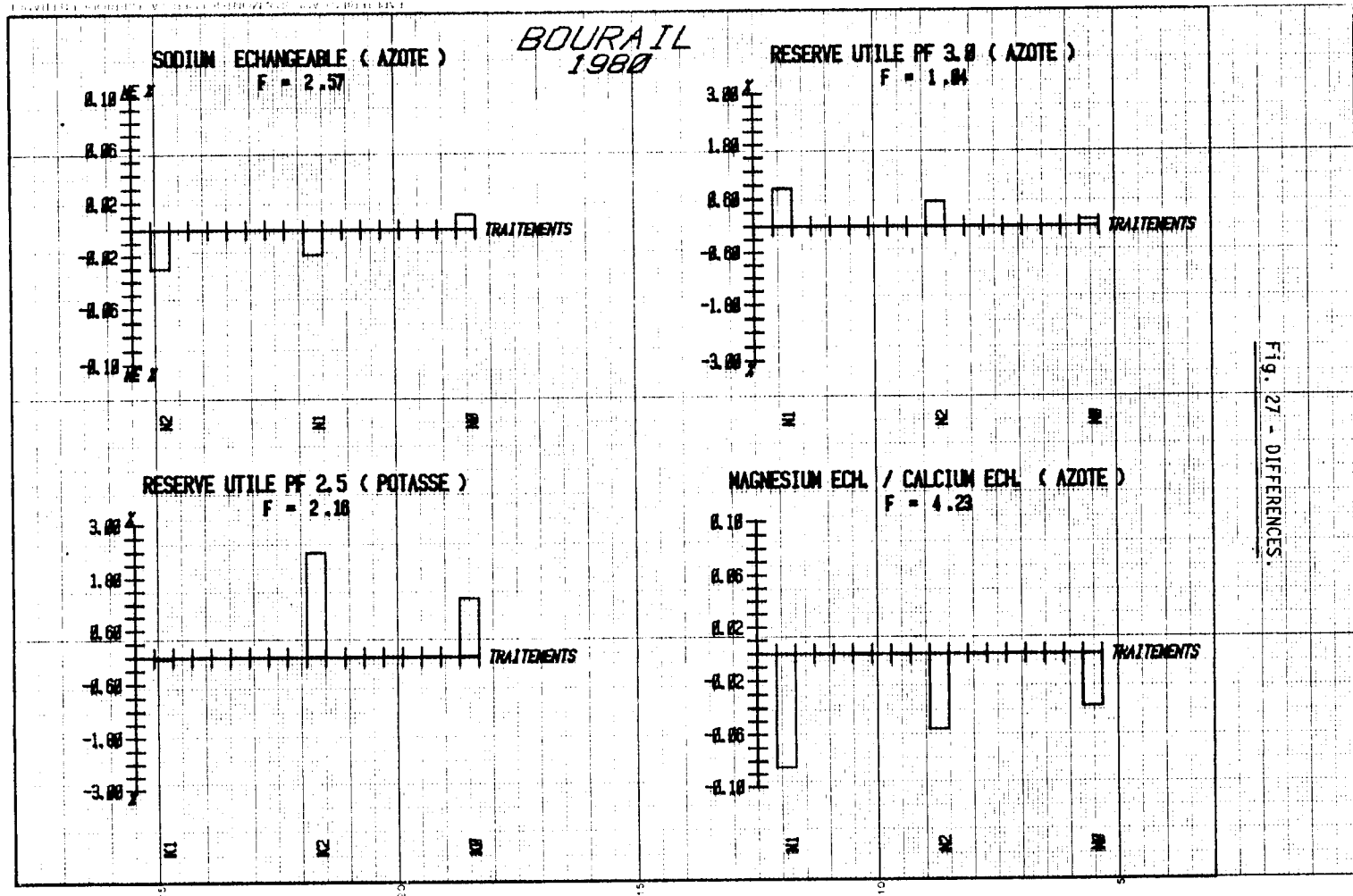


Fig. 27 - DIFFERENCES.

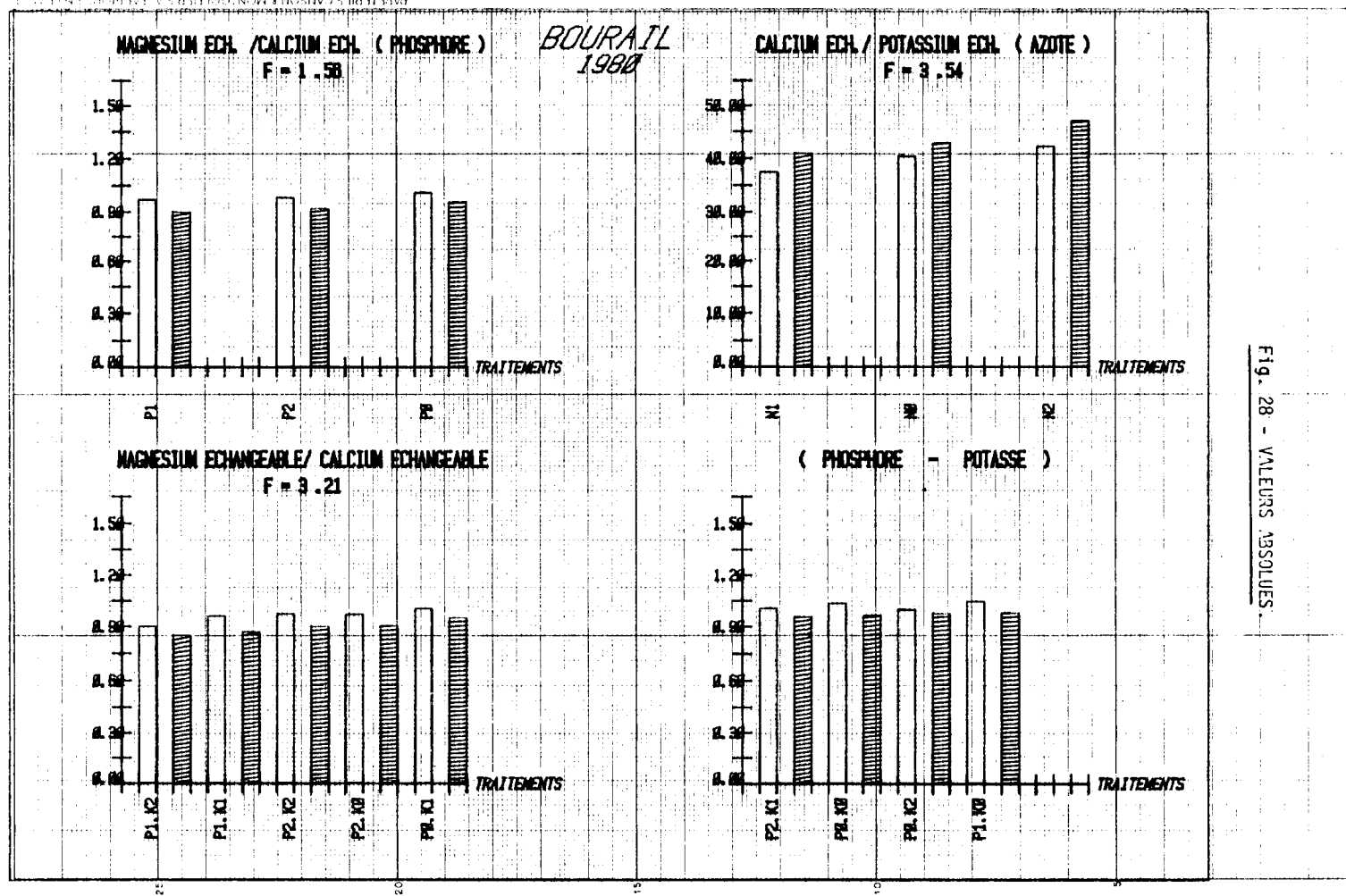


Fig. 28 - VALEURS ABSOLUES.

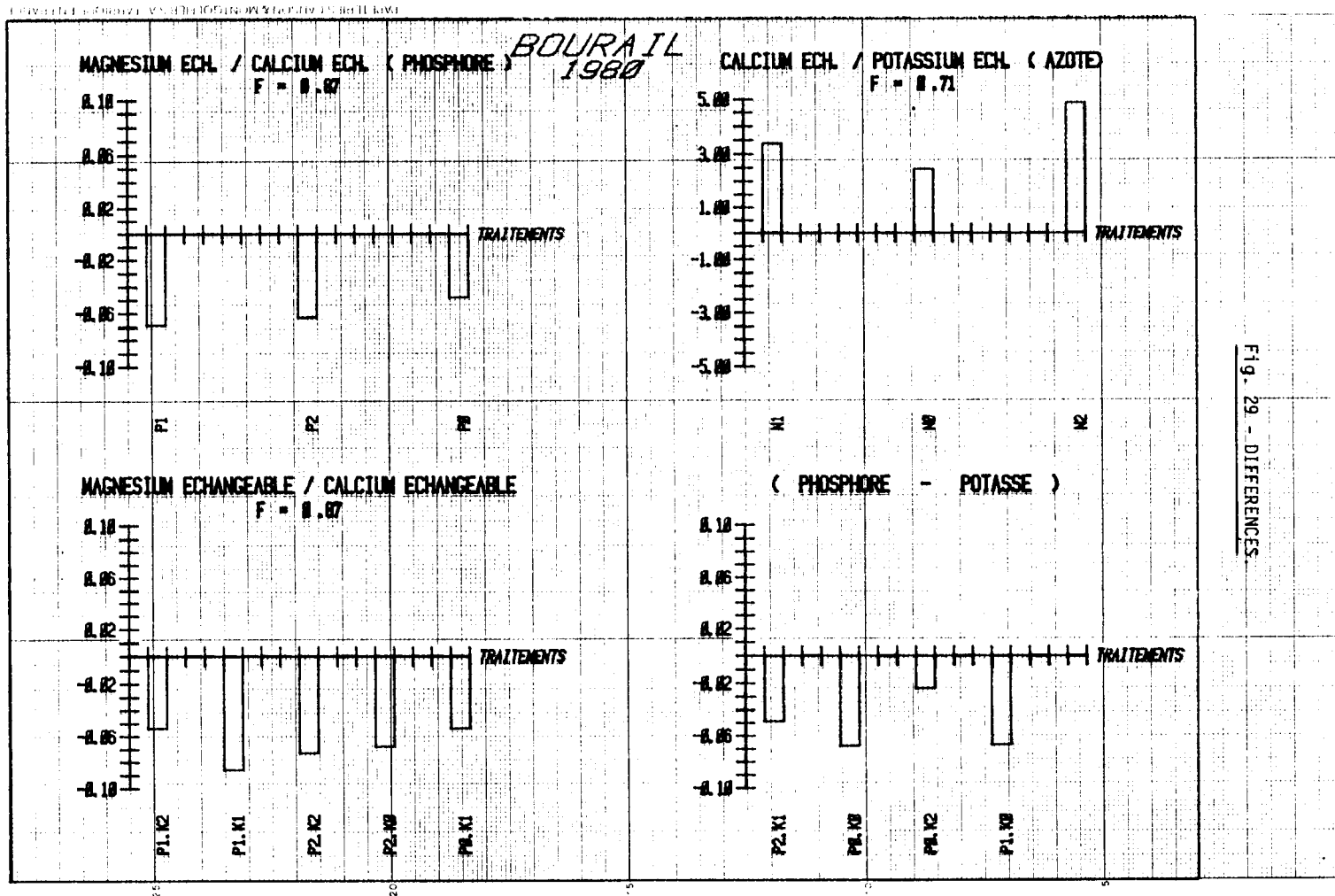


Fig. 29 - DIFFERENCES.

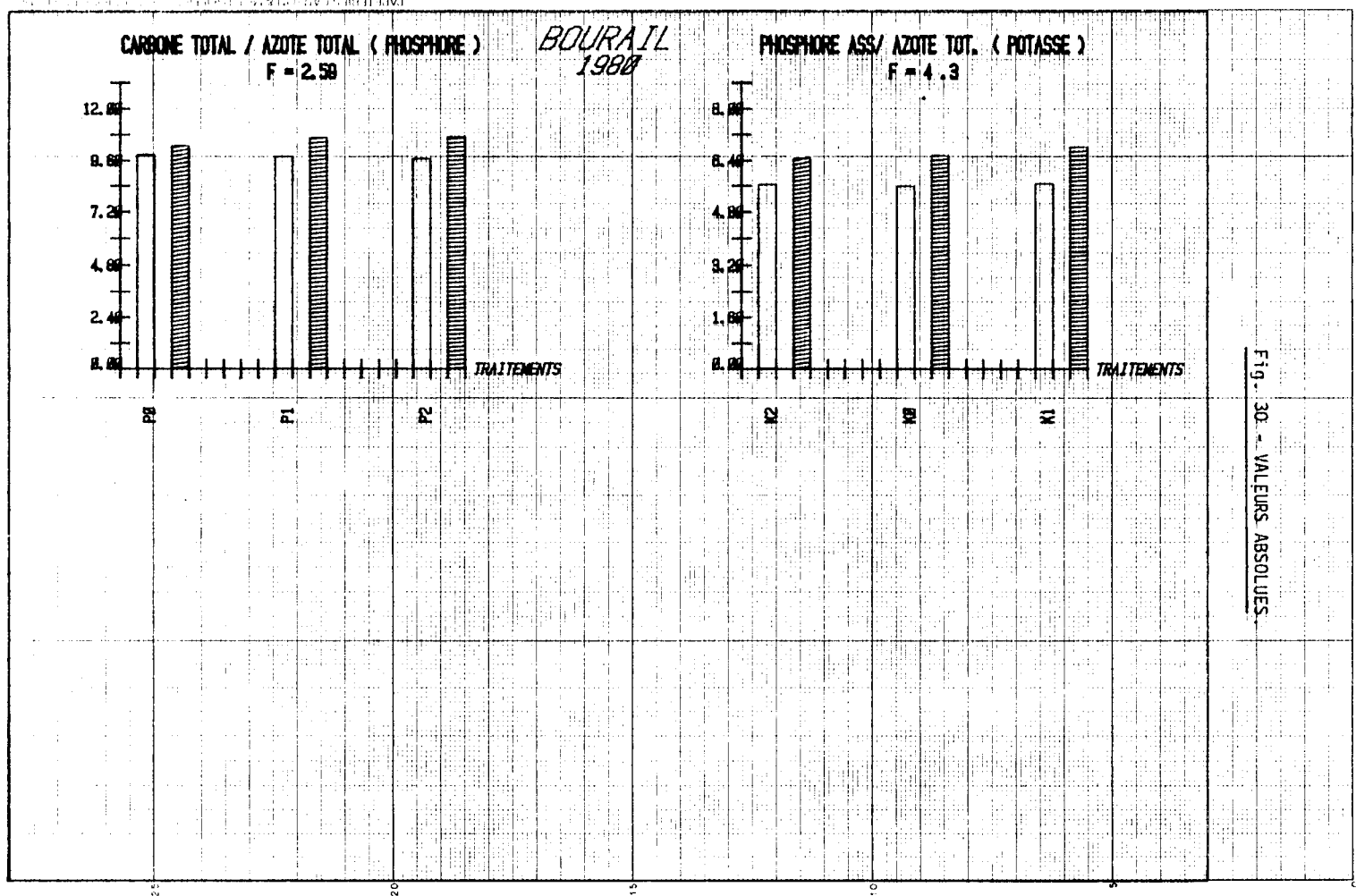


Fig. 30. - VALEURS ABSOLUES.

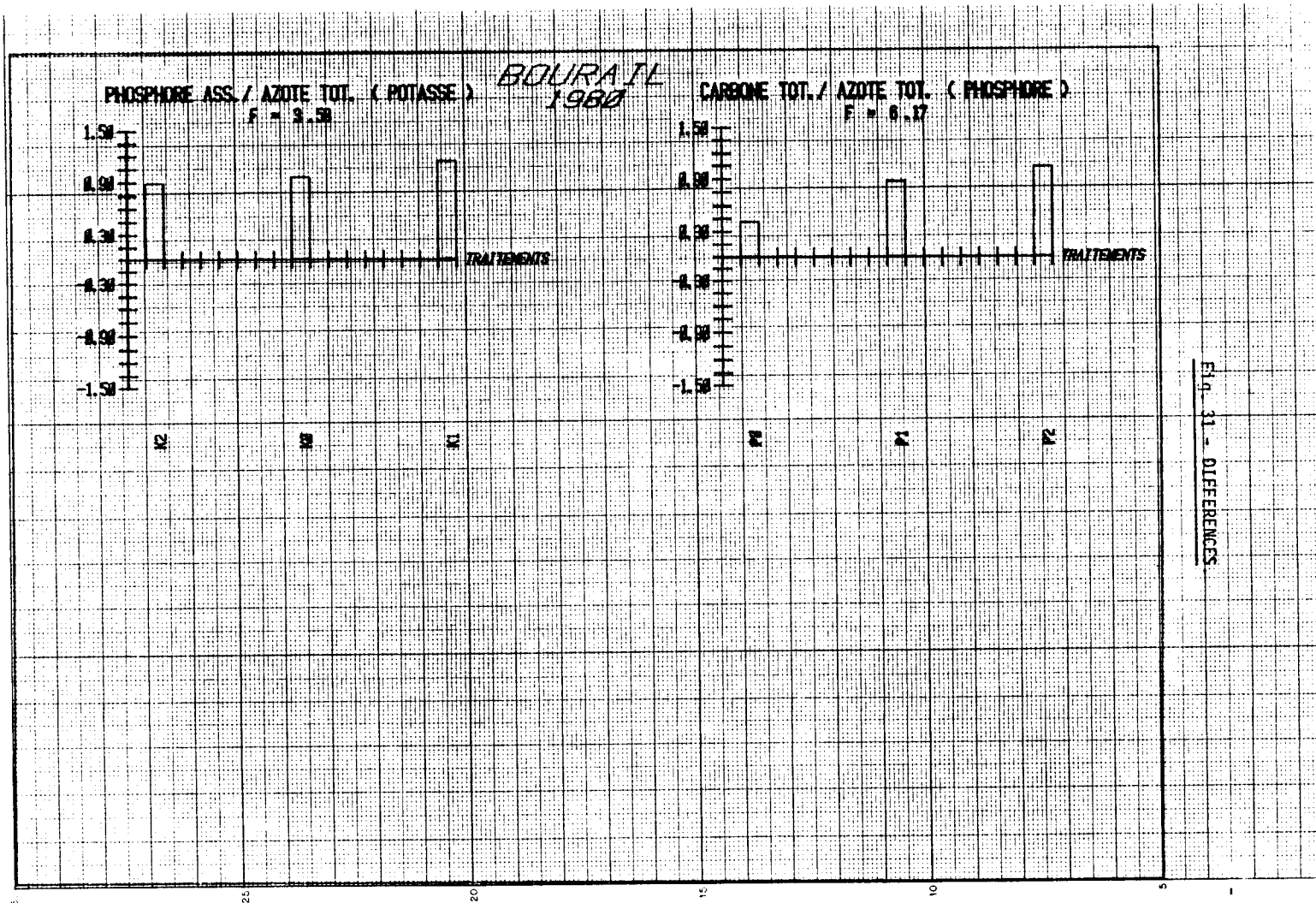


Fig. 31 - DIFFERENCES